



T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**FARKLI PROSES KOŞULLARININ BAZI TAHİL VE BAKLAGİLLERDEKİ
FİTİK ASİT DÜZEYİ VE BİYOYARARLANIM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müberra BEKTAŞ

ARALIK 2018
GÜMÜŞHANE

**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FARKLI PROSES KOŞULLARININ BAZI TAHİL VE BAKLAGİLLERDEKİ
FİTİK ASİT DÜZEYİ VE BİYİYARARLANIM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müberra BEKTAŞ

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20.12.2018

Tezin Sözlü Savunma Tarihi: 28.12.2018

ARALIK 2018



KABUL ve ONAY



Dr. Öğr. Üyesi Müge HENDEK ERTOP danışmanlığında Müberra BEKTAŞ tarafından hazırlanan “Farklı Proses Koşullarının Bazı Tahıl ve Baklagillerdeki Fitik Asit Düzeyi ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği / ~~Oy Çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Başkan:

Doç. Dr. Oktay YILDIZ

Üye (Danışman):

Dr. Öğr. Üyesi Müge HENDEK ERTOP

Üye:

Doç. Dr. Bilge BAHAR

ONAY

Bu tez 06/02/19 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ferkan SİPAHİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum "Farklı Proses Koşullarının Bazı Tahıl ve Baklagillerdeki Fitik Asit Düzeyi ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması" isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel bütün ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynakları eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20.12.2018



Müberra BEKTAŞ

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FARKLI PROSES KOŞULLARININ BAZI TAHİL VE BAKLAGİLLERDEKİ
FİTİK ASİT DÜZEYİ VE BİYOYARARLANIM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Müberra BEKTAŞ

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Müge HENDEK ERTOP

2018, 91 sayfa

Yüksek kül, protein ve karbonhidrat içeriğine sahip olan ve günlük diyetin yaklaşık % 70'ini oluşturan tahıl ve baklagiller, fitik asit başta olmak üzere çeşitli antinutrient (beslenme karşıtı) bileşikleri yapılarında doğal olarak ihtiva etmelerine bağlı olarak besinsel kaliteyi büyük ölçüde etkilemektedirler. Fitik asit, belirli pH ve sıcaklık şartlarında fitaz enzimi sayesinde parçalanmaktadır. Tez çalışması kapsamında, tahıl ve baklagillere günlük hayatta ve endüstriyel olarak uygulanan kabuk soyma/öğütme, ıslatma, çimlendirme, termal işlem ve fermantasyon prosesleri uygulanmıştır. Bu proseslerin uygulanmasıyla, tahıl ve baklagillerin fitik asit miktarlarında çeşitli oranlarda azalış sağlanmıştır. Fitik asitin azalmasında, tüm prosesler istatistiki önem ($p<0.05$) düzeyinde etkili olmakla beraber, özellikle fermantasyon ve çimlendirme prosesleriyle daha etkin

sonuçlar elde edilmiştir. Çünkü; imlendirme ve fermentasyon işlemleri, fitik asiti parçalayan fitaz enziminin aktivite gösterdiği pH aralığına ulaşmasını sağlayan en önemli işlemlerdir. Elde edilen sonuçlar, tahıl ve baklagillerde en önemli antinutrient olan fitik asitin azalmasıyla tahıl ve baklagillerin kl ve protein sindirebilirlik oranlarında artış meydan geldiğini ve buna bağlı olarak tanelerin mineral ve protein biyoyararlanım oranının arttığını göstermiştir. Özellikle imlendirme ve fermentasyon proseslerinin hem kl sindirebilirlik hem de protein sindirebilirlik oranında istatistiki önem derecesine ($p<0.05$) sahip artış sağladığı tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Baklagil, Biyoyararlanım, Fitaz, Fitik asit, Sindirebilirlik, Tahıl

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIFFERENT PROCESS CONDITIONS ON THE PHYTIC ACID LEVEL AND BIOAVAILABILITY OF SOME CEREALS AND LEGUMES

Müberra BEKTAŞ

Gümüşhane University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Müge HENDEK ERTOP

2018, 91 pages

The cereal and legumes that create approximately 70 % of the daily diet and have high ash, protein and carbohydrate content, effect highly to the nutritional quality depending they content naturally in their structures to the various antinutrient compounds mainly phytic acid. Phytic acid is smashed through phytase enzyme depending on certain temperature and pH conditions. In thesis work, it was applied the grinding, soaking, germination, heat treatments and fermentation processes applied in daily life and industrially to cereal and legumes. It was provided decrease in various rates in amounts of phytic acid of cereal and legumes by the application of processes. In the reduction of phytic acid, it was obtained more effective results with especially fermentation and

germination processes, with all processes were effective at the level of statistical significance ($p<0.05$). Because, the germination and fermentation are the most important processes which provide reaching to pH range which has been activated the phytase enzyme that smashes phytic acid. The results showed that depending the phytic acid which is the most important antinutrient in cereals and legumes reduced, the rates ash and protein digestibility of cereal and legumes increased consequently the rates of protein and mineral bioavailability of seeds increased. It was obtained that was provided an increase in statistical significance ($p<0.05$) in both rate of ash digestibility and rate of protein digestibility of specially germination and fermentation processes.

Key words: Legume, Bioavailability, Phytase, Phytic acid, Digestibility, Cereal

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Tezi olarak hazırlanmıştır.

Tez çalışmam süresince büyük bir sıcaklıkla yol gösteren, bilgi, tecrübe ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Müge HENDEK ERTOP ve ailesine yürekten teşekkür ederim.

Çalışmalarımı büyük bir titizlikle takip eden ve bu süre boyunca maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemeyen canım aileme kalpten minnettarım.

Tez analiz süresince laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Rabia ATASOY'a teşekkür ederim.

Müberra BEKTAŞ

GÜMÜŞHANE, 2018

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	IV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIV
EŞİTLİKLER	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı	3
1.3. Kapsam	4
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	6
2.1. Fitik Asit.....	6
2.2. Gıdalardaki Fitik Asit Kaynakları	7
2.3. Fitik Asitin Beslenme ve Sağlık Üzerindeki Etkileri	10
2.4. Fitik Asitin Yararlı Etkileri	13
2.5. Fitaz Enzimi	14
2.5.1. Fitik Asit ve Fitaz Enzimi Etki Mekanizması	14
2.5.2. Fitazlar ve Sınıflandırılması	15
2.5.2.1. Bitkisel Fitazlar	16
2.5.2.2. Mikrobiyal Fitazlar	18
2.6. Fitaz Enziminin Kullanım Alanları	20
2.7. Gıdalardaki Fitik Asit Seviyesini Azaltan Prosesler	21
2.7.1. Öğütme ve Kepeğin Ayrılması.....	22
2.7.2. Islatma	23
2.7.3. Çimlendirme.....	25
2.7.4. Isıl İşlem Uygulamaları (Termal İşlemler).....	27
2.7.5. Fermentasyon	30

2.8.	Materyal ve Yöntem	34
2.8.1.	Materyal.....	34
2.8.2.	Tahıl ve Baklagillere Uygulanan Prosesler	35
2.8.2.1.	Kabuk Ayırma/Öğütme	35
2.8.2.2.	Islatma	35
2.8.2.3.	Termal İşlemler	36
2.8.2.3.1.	Yaş Isıl İşlem (Kaynatma).....	36
2.8.2.3.2.	Otoklavda Isıl İşlem.....	36
2.8.2.4.	Çimlendirme	36
2.8.2.5.	Fermantasyon	37
2.8.3.	Analiz Yöntemleri	38
2.8.3.1.	Fitik Asit Tayini	38
2.8.3.2.	Fitik Asit Referans Solüsyonu	38
2.8.3.3.	Ferrik Çözeltisi (Demir-III çözeltisi).....	38
2.8.3.4.	2,2-Bipiridin Çözeltisi	39
2.8.3.5.	Rutubet	39
2.8.3.6.	Kül	39
2.8.3.7.	Mineral Madde İçeriği	39
2.8.3.8.	<i>In-vitro</i> Kül Sindirebilirlik Oranı (KSO).....	40
2.8.3.9.	Protein.....	40
2.8.3.10.	<i>In-vitro</i> Protein Sindirebilirlik Oranı (PSO).....	40
2.8.3.11.	İstatistiksel Analiz	41
3.	BULGULAR ve TARTIŞMA	42
3.1.	Ham Maddelerin Fizikokimyasal Özellikleri	42
3.2.	Kabuk Ayırma Prosesinin Tahıllardaki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkisi	45
3.3.	Tahıllara Uygulanan Kabuk Ayırma Prosesinin Mineral Madde Miktarı Üzerindeki Etkisi	49
3.4.	Islatma Prosesinin Tahıl ve Baklagillerdeki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkisi	52
3.5.	Çimlendirme Prosesinin Tahıl ve Baklagillerdeki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkisi	56

3.6.	Isıl İşlem Proseslerinin Tahıl ve Baklagillerdeki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkisi	60
3.6.1.	Otoklavlama Prosesinin Tahıl ve Baklagillerdeki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkisi	60
3.6.2.	Kaynatma Prosesinin Tahıl ve Baklagillerdeki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkisi	62
3.7.	Fermantasyon Prosesinin Tahıl Unlarındaki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkisi	64
3.8.	Uygulanan Proseslerin Etkinliklerinin Karşılaştırılması	68
4.	SONUÇ ve ÖNERİLER.....	72
5.	KAYNAKLAR.....	76
	ÖZGEÇMİŞ.....	92

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Fitik asitin molekül yapısı	6
Şekil 2.2. Fitik asit ve fitik asit şelatının kimyasal yapısı	7
Şekil 2.3. Fitatın fitaz enzimi ile hidrolizinin şematik gösterimi	14
Şekil 2.4. Fitatın fitaz enzimi ile inositol fosfat ve elementlere hidrolizi	15
Şekil 2.5. Çalışmada kullanılan ham maddeler	34
Şekil 2.6. Ham maddelerde kabuk ayırma ve öğütme prosesleri	35
Şekil 2.7. Ham maddelerin ıslatılması	35
Şekil 2.8. Ham maddelerin kaynatılması	36
Şekil 2.9. Ham maddelerin otoklavlanması	36
Şekil 2.10. Ham maddelerin çimlendirilmesi	37
Şekil 2.11. Tahıl unlarının fermente edilmesi	38

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Çalışmada kullanılan tahıl ve baklagillere uygulanan işlemler	5
Tablo 2.1. Bazı hububatların farklı kısımlarındaki fitik asit miktarları	8
Tablo 2.2. Hububattaki fitat fosforu ve fitik asit içerikleri	9
Tablo 2.3. Bazı yemlerdeki fitat fosfor oranı ve fitaz aktivitesi	18
Tablo 2.4. Bazı mikrobiyal fitazlar ve özellikleri.....	19
Tablo 2.5. Un randımanına bağlı olarak unun fitik asit miktarı	23
Tablo 2.6. Çalışmada kullanılan cihazlar	34
Tablo 3.1. Ham maddelerin rutubet, kül ve protein miktarları	42
Tablo 3.2. Kabuk soyma prosesinin tahıllardaki fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etkisi.....	47
Tablo 3.3. Tahıl ve unlarının mineral madde içerikleri	50
Tablo 3.4. Islatma prosesinin tahıl ve baklagillerdeki fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etkisi	54
Tablo 3.5. Çimlendirme prosesinin tahıl ve baklagillerdeki fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etkisi	58
Tablo 3.6. Otoklavlama prosesinin tahıl ve baklagillerdeki fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etkisi.....	61
Tablo 3.7. Kaynatma prosesinin tahıl ve baklagillerdeki fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etkisi	63
Tablo 3.8. Fermantasyon prosesinin tahıl unlarındaki fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etki.....	66
Tablo 3.9. Proseslerin tane fitik asit düzeyi üzerindeki değişim oranları.....	68
Tablo 3.10. Proseslerin tane KSO üzerindeki değişim oranları.....	70
Tablo 3.11. Proseslerin tane PSO üzerindeki değişim oranları.....	71

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	<i>Aspergillus</i>
Aw	Su Aktivitesi
Ba	Baryum
BPPHy	β -Propellar fitaz
CP	Sistidin Fosfataz
Ca	Kalsiyum
Cu	Bakır
°C	Santigrat Derece
DM	Diabetes Mellitüs (Şeker Hastalığı)
<i>E</i>	<i>Escherichia</i>
Fe	Demir
FTU	Fitaz Enzim Birimi
GI	Glisemik İndeks
HAP	Histidin Asit Fosfataz
HCl	Hidrojen Klorür
H ₂ O ₂	Hidrojen Peroksit
HNO ₃	Nitrik Asit
K	Potasyum
kDa	Kilodalton
KSO	Kül Sindirebilirlik Oranı
LAB	Laktik Asit Bakterileri
Mg	Magnezyum
μ g	Mikrogram
mg	Miligram
mL	Mililitre
N	Normalite
NaOH	Sodyum Hidroksit
P ₆ C ₆ H ₁₈ O ₂₄	Fitik Asit
C ₆ H ₆ O ₂₄ P ₆ Na ₁₂	Sodyum Fitat
pH	Power of Hydrogen (Hidrojen kuvveti)
PHy	Phytase (Fitaz)
ppm	Parts Per Million (Milyonda Bir Birim)
PSO	Protein Sindirebilirlik Oranı
PAP	Purple Asit Fosfataz
rpm	Dakikada Devir Sayısı (Revolutions Per Minute)
<i>S</i>	<i>Saccharomyces</i>
Se	Selenyum
SPSS	Sosyal Bilimler İçin İstatistik Programı
<i>Spp</i>	Türleri
TCA	Triklorasetik asit
U	Enzim Aktivasyon Birimi
v	Hacim
Zn	Çinko

EŞİTLİKLER

	<u>Sayfa No</u>
3.1. KSO (Kül Sindirebilirlik Oranı)	40
3.2. PSO (Protein Sindirebilirlik Oranı)	41

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Tahıllar ve baklagiller gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler başta olmak üzere günlük diyetin büyük bir kısmını karşılamaktadır. Özellikle düşük gelirli ülkelerde hayvansal kaynaklı gıdalarla beslenme oranının düşük olması tahıl, baklagil gibi bitkisel kaynaklı gıdaların günlük diyetteki önemini artırmaktadır. Aynı zamanda hayvansal kaynaklı gıdaları ihtiva etmeyen vejetaryen ve vegan diyetleri de bitkisel kaynaklı gıdaları yüksek oranda içermektedir. Gelişmekte olan ülkelerde kullanılan karışım diyetlerin kalitesi ve sindirilebilirliği gelişmiş ülkelerinkine kıyasla daha düşüktür. Örneğin; Hindistan, Guatemala, Brezilya gibi gelişmekte olan ülkelerdeki geleneksel diyetlerin protein sindirilebilirliği Kuzey Amerika ülkeleri ile kıyaslanınca (% 54–78'e karşılık % 88–94) daha düşüktür (Gilani vd., 2005). Buna bağlı olarak da özellikle gelişmekte olan ve düşük gelirli ülkelerde, tüketimde önemli bir yeri olan tahıl ve baklagiller başta olmak üzere birçok bitkisel gıda, canlı beslenmesinde büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizin bir tarım ülkesi olmasına bağlı olarak çeşitli tahılların ve baklagillerin üretimi desteklenmektedir. Özellikle tahıllardan buğday tanesinin insan beslenmesinde ön sıralarda yer aldığı görülmektedirken yulaf, çavdar gibi tahılların da beslenmedeki yerini artıracak çalışmalar yapılmaktadır. İnsan beslenmesi bakımından günümüzde tahıl ve baklagillere bakış açısı, yüksek oranda içerdikleri karbondhidrata dayalı enerji sağlayıcı özelliği üzerinde odaklanmaktadır. Tahıllar da baklagiller de bünyelerinde canlılar için elzem olan protein, vitamin, mineral madde gibi besin gruplarını çeşitli oranlarda içermektedir. Aynı zamanda birçok reaksiyonun temelini oluşturan karbondhidratlar tahıl ve baklagillerin endospermünde yüksek oranlarda bulunmaktadır. Tahıl ve baklagiller protein miktarı bakımından küçümsenemezler; fakat proteinlerinin biyolojik değeri, daha açık bir ifadeyle lizin ve triptofan gibi esansiyel aminoasitlerin içeriği bakımından et, süt ve yumurta gibi hayvansal gıdalara göre eksiklik göstermektedirler. Bunun yanı sıra tiamin, niyasin, riboflavin gibi B kompleksi vitaminleri ile demir (Fe), kalsiyum (Ca), çinko (Zn), magnezyum (Mg) gibi minerallerce de önemli besin kaynağıdırlar. Ancak tüm gıdalarda olduğu gibi tahıl ve baklagillerin mevcut besinsel içeriğinin kantitatif olarak ne düzeyde olduğu değil, insan vücuduna alındığında bir gıda maddesi olarak bu içerikten ne düzeyde yararlanıldığı, yani vücuda alınıp sindirildikten sonra ne düzeyde biyoyararlanım sağladığı daha önemlidir.

Her anlamda büyük öneme sahip tahıl ve baklagiller için üzerinde odaklanması gereken en önemli husus antinutrient (beslenme karşıtı) bileşiklerdir. Antinutrientler, tahıl ve baklagiller başta olmak üzere birçok bitkisel gıdanın yapısında doğal olarak bulunan organik bileşiklerdir (Bohn vd., 2008). Fitik asit, tanenler, polifenoller, proteaz inhibitörleri, oksalat, lektin, saponin ve gluten tahıl, baklagil, meyve, sebze gibi çeşitli gıdalarda bulunan antinutrient bileşiklerdendir. Özellikle fitik asit, tahıl ve baklagillerde yüksek seviyede bulunmaktadır. Fitik asit, gıdalarda mevcut olan iki değerlikli minerallerle şelat oluşturarak besinlerin sindirimini engellemekte ve onları vücut için yararlı hale getirmektedir (Zhou ve Erdman, 1995; Urbano vd., 2000; Feil, 2001). Yani besin maddelerinin vücuttaki biyoyararlanımlarını azaltmaktadır. Ayrıca yüksek pH değerlerinde proteinlerle de kompleks oluşturabilmekle birlikte (Carnovale vd., 1988), sadece proteinlerle ve minerallerle değil karbonhidratlarla, B12 gibi kompleks vitaminlerle de şelat oluşturmakta ve pepsin, tripsin, endojen proteaz, lipaz, α -amilaz gibi sindirim enzimlerinin de vücut içerisinde aktifleşmelerine engel olmaktadır (Liener, 1994). Bu anlamda fitik asit, gıdalardaki besinlerin biyoyararlanımlarını engellemesine (Eltayeb vd., 2007) bağlı olarak beslenme karşıtı bileşikler olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde ise antinutrient faktörlerin biyoyararlanımı azaltması oldukça dikkat çeken bir durum olduğu belirtilmiştir (Novak ve Haslberger, 2000).

Tahıl ve baklagil gibi bitkisel gıdalarda bulunan besin maddelerinden vücudun yararlanabilmesi için gıdanın yapısında bulunan fitik asitin parçalanarak mineral, protein ve diğer besinlerin serbest hale geçmesi gerekmektedir. Fitik asitin degradasyonu (parçalanması) ise belirli şartlar altında fitaz enzimi sayesinde olmaktadır. Fitaz enzimi, belirli sıcaklık, pH şartlarında optimum aktivite göstermekte ve fitik asitin degradasyonunu hızlandırarak gıdalardan uzaklaşmasını sağlamaktadır. Fitazın aktivitesiyle fitik asitin parçalanmasıyla gıdalardaki proteinlerin, minerallerin serbest hale geçtiği ve bu sayede gıdaların besin değerinin yükseldiği ve besinlerin vücuttaki emilimlerinin arttığı söylenebilmektedir.

Gıda işleme proseslerinde gıdaların tüketime hazır forma dönüştürülmesi amacıyla ön hazırlık ve temel işleme aşamaları kullanılmaktadır. Tahıl ve baklagillerin tüketilebilir forma getirilmesi veya farklı yan ürünlere işlenebilmesi için gerek endüstriyel hammadde işlemede gerekse evsel tüketim öncesi kabuk soyma, ıslatma, ısıl işlem, çimlendirme (malt yapımı için), fermentasyon gibi bazı yöntemler kullanılmaktadır. Ancak bu işlemler sırasında kullanılan kabuk ayırma, basınç uygulama, kaynatma, kuru veya basınç altında

ısıtıl işlemler onların besinsel nitelikleri üzerinde olumlu veya olumsuz etki oluşturabilmektedir. Isıya duyarlı vitamin, fenolik bileşik gibi bileşenlerin zarar görmesi gıdanın besinsel kalitesini düşürürken, bazı antinutrientlerin parçalanması ise mineral ve proteinlerin biyoyararlanımını arttırdığından dolayı besinsel kaliteyi artırıcı etki yapmaktadır.

1.2. Çalışmanın Amacı

Dünya genelinde vazgeçilmez bir gıda grubu olan tahıllar günlük diyetle her zaman önemini korumuştur. Fakat bu gıda grubunun içerdığı beslenme karşıtı bileşiklerin neden olduğu düşük biyoyararlanım, tahıl ve baklagillerin tüketiminde besinsel kaliteyi düşürmektedir. Ülkemizde ve dünyada yaygın olarak tarımı yapılan ve gıda olarak tüketilen tahıllar; buğday, arpa, çavdar, yulaf, pirinç; baklagiller ise mercimek, fasulye ve nohuttur. Bu tarım ürünlerinin gıda olarak tüketilebilir forma getirilebilmesi veya farklı yan ürünlere işlenebilmesi için, kabuk soyma, öğütme, ısıtıl işlem, çimlendirme ve fermantasyon gibi işlemler uygulanmaktadır. Proses koşulları ise gıdaların besinsel içeriğini direkt etkilemektedir. Çalışmanın ilk amacı, gıda işlemedeki bu temel işlemlerin tahıl ve baklagiller üzerindeki etkisini ortaya çıkarmaktır. Bunun yanı sıra tahıl ve baklagillerin kabuk, endosperm ve ruşeym ana fraksiyonları arasındaki besinsel kompozisyonun farklı olması, bu işlemlerden besinsel kalite düzeyi açısından farklı etkilenmelerine de neden olmaktadır. Ayrıca kantitatif düzeyde yapılan çalışmalar, yalnızca tahıl ve baklagillerin değil tüm gıda maddelerinin biyolojik bir materyal olarak içeriğini ortaya koymaktadır. Oysa gıda maddeleri vücuda alındıklarında ana sindirim aşamaları olan mide ve bağırsak ortamından geçmekte, gıdanın besinsel içeriği sindirim sistemi enzimleri ve asidik/bazik ortamlarla etkileşime geçmektedir. Dolayısıyla çalışmanın diğer bir amacı, uygulanacak temel proses işlemlerinin tahıl/baklagiller üzerindeki etkisini yalnızca direkt kantitatif yöntemlerle değil, insan mide/bağırsak sistemi simülasyonundan geçtikten sonra biyoyararlanım veya diğer bir ifade ile sindirilebilirlik açısından değerlendirmektir.

Gıdaların özellikle de tahıl ve baklagillerin besinsel açıdan yararlandığımız ana kısmı enerji veren karbonhidratlardan sonra protein ve minerallerdir. Ancak gıdaların yapısındaki toplam mineral ve protein içeriği besinleri farklı yollarla bağlayarak insan vücudunda sindirimini azaltan veya engelleyen antinutrientler olarak adlandırılan yapılarla direkt ilgilidir. Bu yapıların varlığı gıdanın kantitatif olarak ölçülebilen içeriği ne kadar zengin

olursa olsun, o içeriğin insan vücudunda sindirilerek kana geçişini yani biyoyararlanımını engellemektedir. Bu çalışmanın diğer bir amacı da, temel antinutrientlerden olan, tahıl ve baklagillerde fosforun ana depo formu fitik asitin temel gıda proseslerinden etkilenme düzeyini tespit etmektir. Bu konuda yapılan farklı çalışmalar fitik asitin ısıtma işlemi, fermentasyon gibi proseslerle ve fitaz enzimi sayesinde parçalanabildiğini göstermiştir. Fitik asitin fosforu parçalanması ise gıdanın yapısında kendisiyle bir arada bulunan Ca, Mg, Fe, Zn, Mn gibi mineraller ile proteinlerin biyoyararlanımlarının artması anlamına gelmektedir. Böylece, bu çalışma ile proses koşulları, biyoyararlanım ve antinutrient faktör olan fitik asit arasındaki ilişki açıklanmış olacaktır.

1.3. Kapsam

Bu tez çalışmasının konusu, temel olarak günlük diyetimizin yaklaşık % 70’lik bölümünü oluşturan ve besin piramidinin tabanını meydana getiren tahıl ve baklagil grubu gıdalardan en fazla tüketilen çeşitleri esas almaktadır. Bazı ön işleme ve proses koşullarının fitik asit içeriği, mineral ve protein sindirilebilirliği üzerindeki etkilerinin araştırılması temel konudur. Bu konuda belirlenen çalışma kapsamında uygulanacak deneysel dizayn Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1’de görüldüğü üzere 5 çeşit tahıl ve 3 çeşit baklagil ile çalışılmıştır. Bu hammaddelerin tüketilebilir forma getirilmesinde gerek evsel gerekse endüstriyel yöntemler kullanılmakta kimi zaman kabuk soyma, kimi zaman kaynatma, kurutma kimi zaman da çimlendirme veya ıslatma gibi farklı yöntemler uygulanmaktadır. Örneğin, buğdayın bulgura işlenmesi sırasında kabuk soyma, kaynatma, kurutma gibi yöntemler uygulanırken; arpadan malt üretiminde arpa, hem ıslatma hem de çimlendirme işlemine tabi tutulmaktadır. Islatma, kaynatma, basınçlı pişirme yöntemleri, fermentasyon işlemlerinin ise günlük hayatta gıda üretimlerinde geniş bir kullanım alanı mevcuttur. Tahıl ve baklagillere hem teknolojik hem de günlük hayatta uygulanan işlemler göz önünde bulundurularak uygulamaya dair deneysel dizayn oluşturulmuştur.

Tablo 1.1. Çalışmada kullanılan tahıl ve baklagillere uygulanan işlemler

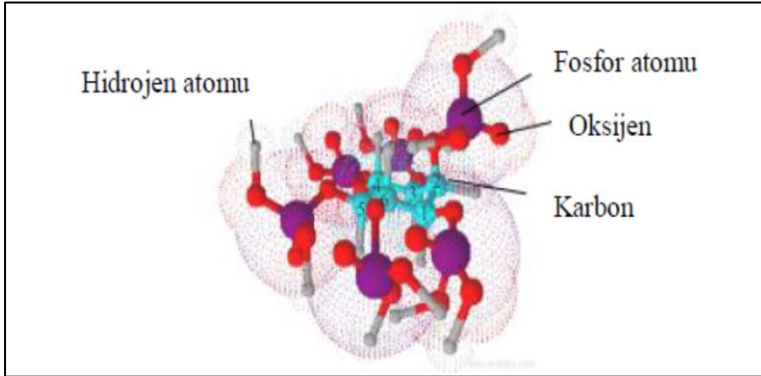
Tahıl/Baklagil	Kabuk soyma	Fermantasyon	Islatma	Yaş ısıtma işlemi	Otoklavda ısıtma işlemi	Çimlendirme
Buğday	X	X	X	X	X	X
Arpa	X	X	X	X	X	X
Çavdar	X	X	X	X	X	X
Yulaf	X	X	X	X	X	X
Pirinç (çeltik)	X	X	X	X	X	X
Fasulye	-	-	X	X	X	X
Nohut	-	-	X	X	X	X
Yeşil mercimek	-	-	X	X	X	X

Öncelikle hammaddelerin fitik asit miktarı, kül miktarı, kuru madde oranları, mineral madde ve protein içerikleri ile kül/protein sindirebilirlik oranları tespit edilmiştir. Daha sonra, belirlenen proses tipleri ve koşulları uygulanmıştır. Uygulama sonrası tüm örneklerin fitik asit içerikleri, sindirilebilir kül miktarları ve kül/protein sindirebilirlik oranları tespit edilmiştir. Ayrıca kabuk ayırma/öğütme aşamasından sonra tekrar mineral madde tayini yapılarak kabuk fraksiyonu ayırımının tahıllardaki mineral madde değişimine etkisi tespit edilmiştir. İşlem öncesi ve sonrası değerler, istatistiksel olarak karşılaştırılarak önem düzeyleri ($p<0.05$) değerlendirilmiştir. Hammaddelerin fitik asit düzeylerindeki değişim beraberinde kül ve protein sindirebilirlik oranlarını da etkileyerek mineral ve protein biyoyararlanım oranlarını da değiştirmiştir. Fitik asit düzeyinin azalmasıyla birlikte tahıl ve baklagillerin mineral ve protein biyoyararlanımında artış meydana gelmiştir. Böylelikle tez çalışması kapsamında “uygulanan proses, fitik asit düzeyi ve biyoyararlanım” arasındaki ilişki bilimsel olarak ortaya konulmuştur.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

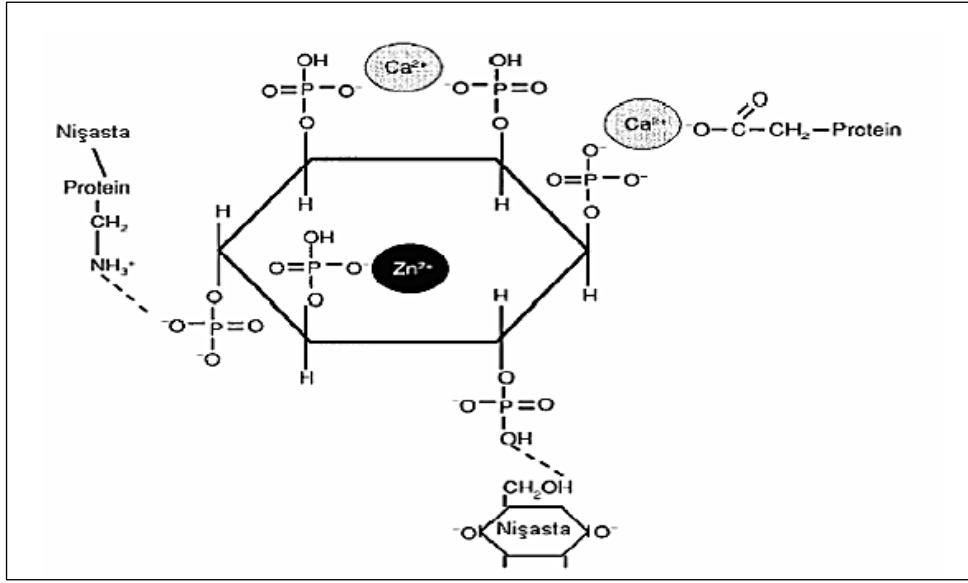
2.1. Fitik Asit

Fitik asit ($P_6C_6H_{18}O_{24}$), başta tahıl ve baklagiller olmak üzere, yağlı tohumlarda ve birçok bitkisel hücrede bulunan organik bir bileşiktir. Fitik asitin kimyasal formülü myo-inositol 1,2,3,4,5,6-hekzadihidrojen fosfattır (Şekil 2.1). $660.04 \text{ g mol}^{-1}$ molekül ağırlığına sahip suda çözünebilir organik bir asittir (Kumar vd., 2010). Merkez inositol halkası ve etrafında altı fosfat grubu olan yüklü bir molekül olmakla birlikte katyonlar için yüksek şelatlama özelliğine sahip bir bileşiktir (Kornegay, 2001). Fitik asit (fitin, fitat), birçok bitki hücresinde depo halinde fitin fosforu olarak bulunmaktadır. Tahıl, baklagil ve yağlı tohumlarda ağırlıkça % 1-5 olarak fosforun en yüksek depo formunu oluşturmaktadır (Vats ve Banerjee, 2004). Fosfor ise, tanede tohumun çimlenmesini ve enerji kaynağı oluşturmalarını sağlamaktadır. Fitik asit, tanelerde ağırlıklı olarak fitat bileşiği olarak da bulunmaktadır. Fitatlar, fitik asitin potasyum, magnezyum ve kalsiyum iyonları ile yaptığı tuzların karışımıdır. Çoğu tahıl ve baklagillerde fitat fosforu toplam fosforun % 50-85' ini kapsamaktadır (Reddy vd., 1982).



Şekil 2.1. Myo-inositol 1,2,3,4,5,6 - hekzadihidrojenfosfat
“Fitik Asit” (Bohn vd., 2008).

Fitik asit etrafında bulunan negatif yüklü fosfat iyonlarının etkisiyle, katyonlar için yüksek afiniteye sahip şelatlama özelliğindeki bir bileşiktir. Yani molekül yapısında da görüldüğü üzere şelat özelliğiyle tanede bulunan pozitif yüklü metallerle ve proteinlerle hatta nişasta ile de bağ oluşturmakta buna bağlı olarak da besinlerin tanelerde serbest hale geçmesini engellemekte ve bunun sonucunda gıdalarda besinlerin düşük biyoyararlanımına neden olmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Fitik asit ve fitik asit şelatının kimyasal yapısı (Kornegay, 2001).

Fitik asit tane oluşumunun ilk evrelerinde düşük olmakla birlikte nişasta oluşumuyla beraber hızlıca artış göstermektedir (Kholdebarin ve Esslamzadeh, 2001). Olgunlaşma periyodu boyunca tanede nişasta, yağ gibi diğer depo maddeleri ile birlikte hızla birikmektedir (Erdman ve Forbes, 1977; O'Neill vd., 1980). Fitatlar, baklagil ve yağlı tohumlarda protein gruplarının içinde küresel şeffaf bir şekilde depolanmıştır (Erdman, 1979).

2.2. Gıdalardaki Fitik Asit Kaynakları

Fitik asit, bitkisel gıdalarda yüksek miktarda bulunan bir antinutrienttir. Hayvansal fitik asit kaynaklarının az olduğu tespit edilmekle birlikte, kuş ve kaplumbağaların eritrositleri ve aynı zamanda organik toprak da fitik asit içermektedir (Erdman ve Forbes, 1977; O'Neill vd., 1980). İnsan beslenmesinde önemli olan tahıllar, baklagiller, yağlı tohumlar ve sert kabuklu meyveler başlıca bitkisel fitik asit kaynaklarındandır. Bu gıdaların özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde alınan toplam kaloringin yaklaşık olarak % 40 ile % 60'ını karşılaması (Schlemmer vd., 2009), ihtiva ettikleri beslenme karşıtı bir bileşik olan fitik asitin önemine oldukça dikkat çekmektedir.

Tahıl tanesi rüşeym, endosperm ve endospermi çevreleyen kepek tabakasından meydana gelmektedir. Arpa, yulaf gibi tahıllarda ise kepek tabakasını kaplayan bir kavuz tabakası bulunmaktadır.

Gupta vd. (2015), buğday ve çeltik gibi tahıllarda fitik asitin, aleuron, perikarp gibi kepek kısımlarında bulunduğunu belirtmiştir. Buğday ve çeltik tanelerinin endospermi hemen hemen fitik asitten yoksunken; fitik asit, bu tanelerin kepek ve ruşeym tabakalarında yoğunlaşmıştır. Mısırdaki ise fitik asitin % 88'i ruşeyimde bulunmaktadır (Ogawa vd., 1979; Reddy vd., 1982). Tablo 2.1 incelendiğinde bu ifadelerle uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 2.1. Bazı hububatların farklı kısımlarındaki fitik asit miktarları (%) (O'Dell vd., 1972)

Çeşit	Endosperm	Ruşeym	Aleuron
Buğday (Sert)	0.001-0.01	0.86-1.35	0.91-1.42
Buğday (Yumuşak)	0.001	1.1	1.16
Mısır (Sarı Diş)	0.01-0.03	0.72-1.78	0.05-0.39
Pirinç (Esmer)	0.004	0.98	0.95

Konu ile ilgili yapılan önceki çalışmalarda fitik asit konsantrasyonunun buğday tohumu ve buğday kepeğinde sırasıyla % 1.1-3.9 ve % 2.0-5.3 olduğu tespit edilmiştir (Kasim ve Edwards, 1998). Harland ve Oberleas (1986), buğday kepeğinde 210-7300 mg/100g, Kasim ve Edward (1998) ise sorgum çeşitlerinde 550- 3350 mg/100g fitik asit olduğunu belirtmiştir. Pirinç kepeğinde ise % 8.7'ye kadar fitik asit bulunabilmektedir (Lehrfeld, 1994). Zhang ve Bai (2011) tarafından çeltik kepeğinden % 2.15 fitik asit ekstrakte edildiği belirtilmiştir. Suma ve Urooj (2011) tarafından yapılan bir çalışmada ise yarı işlenmiş inci darı unlarının fitik asit içeriğinin önemli ölçüde ($p<0.05$) düşük olduğu, kepek bakımından zengin kısımların ise fitik asit değerlerini önemli ölçüde koruduğu belirtilmiştir. Buna bağlı olarak da hububatta fitik asitin ağırlıklı olarak birikim bölgesininin kepek tabakası olduğu söylenebilir.

Tahılların fitik asit içeriği yüksek olmakla birlikte tahılın cinsine, türüne ve çeşidine göre değişebilmektedir. Tablo 2.2 incelendiğinde tahılların çeşitli oranlarda fitik asit ihtiva ettikleri, özellikle kavuz içeren arpa ve yulaf tanelerinin ve buğday ve çavdar melezinden elde edilen tritikale cinsinin de önemli düzeyde fitik asit içerdiği görülmektedir. Bu da, tahıl tanelerinin kavuz tabakalarının da fitik asit bakımından zengin olduğunu göstermektedir. Çeltiğin kavuzunun ayrılmasıyla elde edilen ve büyük bir kısmı endosperminden oluşan pirinç tanesinde ise fitik asit oranının diğer tahıllara kıyasla düşük olduğu görülmektedir.

Baklagil tohumlarında ise fitatlar, endospermin protein kısmında toplanmaktadır. Yabani tip baklagil tohumlarının 0.98 g/100g-3.14 g/100g DM fitik asit içerdiği belirtilmiştir (Vellingiri ve Hans, 2010).

Tablo 2.2. Hububattaki fitat fosforu ve fitik asit içeriği (mg/100g)

Hububat	Fitat Fosforu	Fitik Asit	Kaynak
Buğday (Sert)	240	840	Chang, 1967
Buğday (Yumuşak)	320	1140	O'Dell vd., 1972
Pirinç	250	890	De Bolond vd., 1975
Mısır	280	890	Reddy vd., 1982
Tritikale	140-350	500-1890	Singh ve Reedy, 1977
Çavdar	270	970	Singh ve Reedy, 1977
Arpa	270-330	970-1160	Lolas vd., 1976
Yulaf	220-290	790-1010	Lolas vd., 1976

Fitik asit içeriği soya fasulyesi, susam tohumu, ayçiçeği çekirdeği, keten tohumu, kolza tohumu gibi yağlı tohumlarda yaklaşık % 1.0-5.4 arasında değişiklik göstermektedir (Lolas vd., 1976). Maksimum fitik asit içeriğinin soya fasulyesi konsantratlarında % 10.7 olduğu belirtilmiştir (Lehrfeld, 1994). Ravindran vd. (1994), nohutun 0.28-1.60 g/100g, bezelyenin 0.22-1.22 g/100g, mercimeğin 0.27-1.51 g/100g fitik asit içerdiğini belirtmiştir. Lehrfeld (1994) ise, fasulyenin 0.61-2.38 g/100g fitik asit içerdiğini bildirmiştir. Diğer zengin fitat içeriğine sahip gıda grubu ise yaklaşık % 0.1-9.4 aralığında fitat içeriğine sahip badem, fıstık, kaju gibi sert çekirdekli meyvelerdir (Chen, 2004; Venktachalam ve Sathe, 2006; Schlemmer vd., 2009).

Literatürde belirtildiği üzere baklagil, kuruyemiş, yağlı tohumların da önemli bir fitik asit kaynağı olduğu görülmektedir. Hatta yağlı tohum ve kuruyemişlerin baklagillere kıyasla daha yüksek fitik asit (fitat) içerdiği de dikkat çekmektedir. Kuruyemişlerin, geniş bir endüstriye sahip olan yağlı tohumların ve gerek endüstride gerekse insanların günlük diyetlerinde önemli bir yeri olan baklagillerdeki antinutrient bir bileşik olan fitik asitin miktarının yüksek olması üzerinde önemle durulması gereken bir konudur. Canlı metabolizması için gerekli olan aminoasitleri, çeşitli esansiyel yağ asitlerini, mineral ve vitaminleri yüksek oranda içeren yağlı tohum, kuruyemiş gibi gıdalardaki besin maddelerinden vücudun yararlanabilmesi için muhakkak fitik asit içerikleri azaltılarak tüketime sunulmaları gerekmektedir.

2.3. Fitik Asitin Beslenme ve Sağlık Üzerindeki Etkileri

Fitik asitin beslenmeye bağı olarak insanlarda ve hayvanlarda zararlı etkileri bulunmaktadır (Janeb ve Thompson, 2002). Tipik negatif etkisi şelat özelliğinden dolayı iki değerlikli iyonlarla çözünmez tuzlar oluşturarak vücutta düşük biyoyararlanıma neden olmasındır (Zhou ve Erdman, 1995; Urbano vd., 2000; Feil, 2001).

Fitik asitin oluşturduğu kompleks bileşiklerin normal gastrointestinal pH'da çözünürlükleri çok azdır. Oluşan kompleks bileşiklerin çözünürlüğünün az olması minerallerin vücuda yeterli alınamamasında en temel neden olarak görülmektedir (Harland ve Harland, 1980). Bunun nedeninin minerallerin proteinlerden farklı olarak sindirimlerinin asidik pH'da gerçekleşmesi olduğu söylenebilir. Bu anlamda fitik asitle kompleks oluşturmuş minerallerin vücuda alınmadan önce muhakkak serbest hale yani sindirilebilir forma dönüşmesi gerekmektedir.

Tahıl, baklagil ve birçok bitkisel gıda yapılarında protein, mineral ve vitamin gibi besin maddelerini hatta birçok enzimi çeşitli oranlarda ihtiva etmektedir. Mineral, protein, vitamin ve enzimlerin vücutta koruyucu, düzenleyici, onarıcı görevleri bulunmaktadır. Bu besin maddelerinin eksikliği özellikle çocuklar olmak üzere bütün canlıların metabolizmasını olumsuz etkilemektedir ve sonuç olarak da çeşitli fiziksel, sinirsel ve metabolik rahatsızlıklar meydana gelebilmektedir.

Tahıl ve baklagillerin mineral içeriğinin biyoyararlanımının seviyesi, zararlı bir antinutrient olan fitik asitin varlığına, nispeten düşük mineral içeriğine, olumsuzluklara neden olarak % 5-15'e kadar beslenme değerini ve biyoyararlanımını azaltan diğer antinutritional faktörlere bağıdır (Das vd., 2011). İnsanlar, tavuklar ve domuzlar gibi çoğu tek mideli hayvanların sindirim sistemlerinde fitatın hidrolizinde önemli etkiye sahip olan fitaz aktivitesi yetersizdir (Moses vd., 2003). Tanelerle birlikte alınan toplam fosforun % 70'i tek mideli hayvanlar tarafından fosfor alımının yetersizliğine bağı olarak dışkıyla dışarı atılmaktadır (Milko vd., 2008). Bu nedenle de tavuk ve diğer hayvan yemlerinde fitik asitin bulunması kesinlikle istenilmemektedir. Singh ve Khatta (2002), konu ile ilgili olarak kanatlı hayvan yemlerine belirli şatlar altında ilave edilen eksojen fitazın protein, mineral, nişastanın besinsel sindirimlerinde artış meydana getirdiğini ve hayvanların performanslarını da artırdığını belirtmiştir. Buna bağı olarak fitik asit içeriği yüksek olan ve hem insan gıdası olarak kullanılan hem de küçük ve büyükbaş hayvan yemlerine herhangi bir işlem görmeden direkt ilave edilen arpa, yulaf, sorgum gibi tahılların tavuk

eti, kırmızı et, süt gibi hayvansal ürünlerin besinsel değerlerini ve kalitesini etkilediği söylenebilir.

Mineraller, vitaminler, proteinler canlılar için temel esansiyel besin gruplarındandır. Demir, çinko ve A vitamini eksikliğinin dünya çapında en ciddi sağlık sorunlarından olduğu belirtilmiştir (Jorge vd., 2008).

Dünya nüfusunun üçte birinden daha fazlası anemi hastalığı ile karşı karşıyadır ki bunun da yaklaşık yarısı demir eksikliğinden kaynaklanmaktadır. Demir eksikliği bilişsel (zeka) gelişim, enfeksiyona karşı direnç, çalışma kapasitesi, üretkenlik ve gebeliği olumsuz etkilemektedir (Sandsted, 1995). Gıdalardaki demir emilimi hem fitik asitin bulunmaması hem de fitik asitin ayrışmasına bağlı olarak 3-5 kat artmaktadır. C vitamini ve Etilen Diamin Tetra Asedik Asitin (EDTA) demir (Fe) ile kompleksler oluşturarak fitik asitin metallerle şelat oluşturmasını engellediğinden fitik asitin olumsuz etkilerini düşürdüğü belirtilmiştir (Hurrel vd., 2000; Hurrel, 2001). Yine A vitamini ve ön maddelerinin de fitik asitle kompleks yaparak, fitik asitin demirin emiliminin azaltmasına engel olduğu belirtilmiştir (Lopez vd., 2002). A ve C vitaminlerinin sahip oldukları antioksidan özelliği sayesinde fitik asitin mineral, protein gibi besin maddeleriyle şelat oluşturmasını engellediği söylenebilir.

Kalsiyum (Ca) eksikliği, çocuklarda raşitizm, yetişkinlerde osteoporoza neden olmaktadır. Vücutta miktar olarak en fazla bulunan mineral olan kalsiyumun çoğu dışerde fosforla birleşik durumda bulunmaktadır (Baysal, 1993). Domuz ve sığanlar üzerinde yapılan araştırmada çinko, kalsiyum ve fitik asit arasındaki intereksiyonlar sonucunda yüksek miktardaki kalsiyumun fitatlarla bağ yapmasıyla çinkonun biyoyararlanımını da azalttığı görülmüştür. Benzer interaksiyonlar çinko ve bakır arasında da görülmüştür (Maga, 1982). Fitik asit, kalsiyum iyonu ile kompleks oluşturarak amilaz aktivitesini engellemektedir (Thompson ve Yoon, 1984). İnce bağırsak pH'sında 1 mol fitik asitin yaklaşık olarak 3-6 mol Ca mineralini bağlayarak çözünmez tuzlar oluşmasına neden olduğu (Saha vd., 1994; Kornegay, 2001) ve bitkisel gıdalardaki kalsiyumun ise çoğunun fitik asit, fosfat ve posa ile birlikte dışarı atıldığı bildirilmiştir (Ajjarapu, 2000).

Çinko (Zn) eksikliği insanlarda dünya çapındaki bir mikrobesein eksikliğidir. İki milyardan daha fazla insanın çinko eksikliğinden zarar gördüğü tahmin edilmektedir (Madaiah vd., 1964). Çinko, hücresel gelişim ve farklılaşmasının içinde yer almaktadır. Çinko eksikliği, bağışıklık sisteminin zarar görmesine, büyümede bozukluğa, ölüm ve hastalıkların artmasına, olumsuz gebelik sonuçlarına ve anormal nörodavranış gelişimine,

dermatit, saç dökülmesi, büyüme geriliği, tat ve kokuya hassasiyet gibi problemlere neden olabilmektedir. Minerallerin biyoyararlanımı, gıdanın ve minerallerin çeşidine bağlı olmakla birlikte farklılık göstermektedir (Joanna ve Zbigniew, 2011).

In-vitro şartlarda yapılan bazı çalışmalar çinkonun fitik asitle en kararlı çözünmez bileşikler oluşturduğunu göstermektedir. Fitik asit sadece diyetteki Zn ile değil endojen Zn ile de kompleksler oluşturmaktadır (Flanagan, 1984).

İnsan beslenmesinde Zn biyoyararlanımının azalması ve fitik asit arasında büyük bir ilişki söz konusu olduğu belirtilmiştir (Maga, 1982). Tahıl ve baklagillerde Zn emiliminin değerlendirilmesi için fitik asit/çinko molar oranı dikkate alınmaktadır (Erdal vd., 1998b). Gibson vd. (1998), fitik asit/çinko oranının 12 ya da daha yüksek olmasının çinko emiliminin azalmasına neden olduğunu belirtmiştir. Bebekler ve ergenlik çağındakinler büyüme ve gelişme döneminde olduklarından çinkoya çok ihtiyaç göstermektedirler. Fitik asit içeren gıdaların çocukların beslenmesinde kullanılması tehlikeli olduğundan büyüme çağındaki çocukların fitik asit içeren tahıl ürünlerini tüketmesi kesinlikle doğru değildir.

Genelde tam tahıl ürünleri, baklagiller ve yağlı tohumlar gibi fitik asit içeriği yüksek gıdalar aynı zamanda fazla miktarda magnezyum içermektedirler. Rafine edilmemiş gıdalar iyi bir magnezyum kaynağıdır. Tam buğday unu gibi az işlenmiş ürünler hem fitik asit bakımından çok zengindir hem de beyaz buğday unundan beş kat daha fazla magnezyum içermektedirler. Fakat, fitik asit ve diğer antinutrientlerin varlığı magnezyumun ve diğer minerallerin de emiliminin azalmasına ve yarayışsız hale gelmesine neden olmaktadır (Şat ve Keleş, 2004).

Fitik asit, yüksek pH değerlerinde proteinlerle de kompleks oluşturabilmekte buna bağlı olarak da bağırsak pH'sında tane proteinlerinin sindirebilirliğini azaltabilmektedir (Carnovale vd., 1988). Fitik asitin proteinlere bağlanması ise doğrudan (protein-fitat) ya da dolaylı olarak da (bir katyon aracılığıyla) olabilmektedir. Aynı zamanda fitik asitin formları, mide pH'sı gibi düşük pH değerlerinde lisin, histinin, arginin gibi aminoasitlerle çözünmez tuzlar oluşturarak aminoasitlerin biyoyararlanımlarını azaltmaktadır (Ravindran vd., 1999).

Fitik asitin, karbonhidratlarla, B12 gibi kompleks vitaminlerle, pepsin, tripsin, endojen proteaz, lipaz, α -amilaz gibi sindirim enzimleriyle de şelat oluşturarak, onların vücut içerisinde aktifleşmelerine engel olduğu belirtilmiştir (Liener, 1994). Bu anlamda belirtildiği üzere fitik asit, elzem olan mineral, protein gibi besin maddelerini yarayışsız

hale getiren, gıdaların besin değerlerinin azalmasına neden olan, zararlı ve gıdalarda bulunması istenmeyen organik bir bileşiktir.

Nişastanın da fitatlarla bağ yaptığı bilinmektedir. İnsan tükürüğünün sodyum fitat ilave edildiği zaman buğday ve fasulye nişastalarını *in-vitro* olarak hidroliz etmesi azalmaktadır. Buna bağlı olarak tahıl ve baklagillerde bulunan fitik asit ile Gİ (glisemik indeks) arasında negatif bir ilişki olduğu belirtilmiştir. Baklagil gibi yüksek nişasta içeren gıdalarda fitik asit nişasta ile kompleksler oluşturarak ince bağırsakta nişastanın sindirimini azaltmakta ve Gİ (glisemik indeks) değerini düşürmektedir (Yoon vd., 1983; Thompson vd., 1987).

Bitkisel kökenli gıdaların miktarına ve gıdaların işlenme derecelerine göre günlük fitat tüketimi 4500 mg'a kadar yükselmektedir. Vejetaryen diyetlerinde ve gelişmekte olan ülkelerde kırsal kesimlerde günlük fitat tüketimi yaklaşık 2000-2600 mg olup, bu değer karışık diyetlerde 150-1400 mg'dır (Reddy, 2002). Alınan fitik asitin çoğu ise tahıl ve baklagillerden ileri gelmektedir. Fitik asitin bu gıdalarda bu kadar yüksek seviyede mevcut olması, herhangi bir işlem görmemiş bitkisel gıdalarla aldığımız çeşitli mineral ve proteinlerin vücut için yararlılığının o misli düşük olduğunu göstermektedir. Bu durum, fitik asitin azaltılması ya da gıdalardan uzaklaştırılmasının gerekliliğini bir kez daha ortaya koymaktadır. Özellikle gelişmekte olan ve düşük gelirli ülkelerde bitkisel bazlı gıdaların tüketiminin yüksek olması nedeniyle bu ülkelerde antinutrient bileşiklerin meydana getirdiği besin eksikliğinin daha yüksek olduğu söylenebilir.

Fitik asitin diğer zararlı etkilerinden bazıları yüzey akışı ve sızıntıya bağlı olarak yüksek fitat ve inorganik fosfat seviyesinin yol açtığı yosun patlamalarına (algal blooms) ve yüzey sularının ötrifikasyonuna (Turner ve Haygarth, 2000; Boesch vd., 2001; Milko vd., 2008), azotlu oksit oluşumuna, sera gazlarında artışa, su hayvanları ve balıkların ölümüne, oksijen yetmezliğine neden olmasıdır (Mallin, 2000; Naqvi vd., 2000).

2.4. Fitik Asitin Yararlı Etkileri

Fitik asitin negatif etkilerinin yanında antikanserojenik (kolon kanseri, göğüs kanseri, prostat kanseri, karaciğer kanseri, pankreas kanseri, kan ve kemik iliği kanseri), antimutajenik, antioksidan, hipolipidemik, hipokolesterolemik, pıhtılaşmayı önleyici, diş çürümelerini önleyici, böbrek taşı oluşumunu önleyici, kolesterolü düşürücü, parkinson ve alzheimer hastalığını tedavi edici, HIV, obezite, diabetes ve kalp rahatsızlıkları gibi

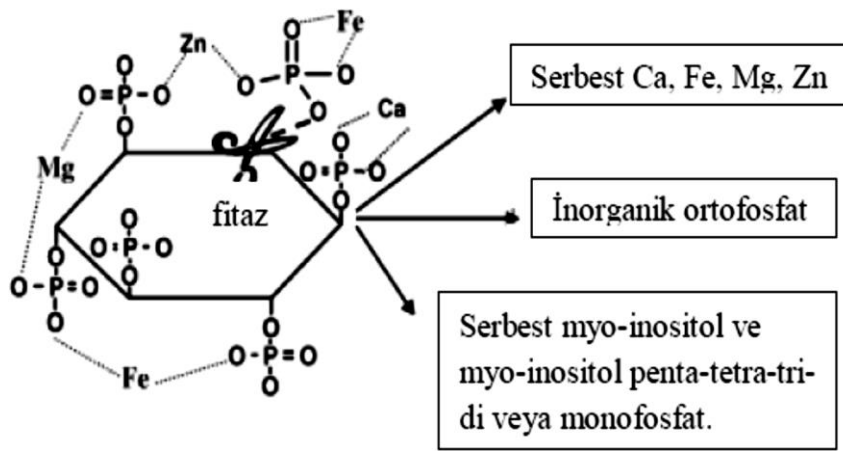
hastalıkları önleyici etkileri bulunmaktadır (Vats ve Banerjee, 2004; Tolay vd., 2005; Kumar vd., 2010).

2.5. Fitaz Enzimi

Fitaz enzimi, (myo-inositol hekzafosfat fosfohidrolaz), fitik asiti (myo-inositol hekzafosfat), inorganik monofosfat, myo-inositol fosfat ve serbest myo-inositol'e hidrolize eden enzimdir (Kerovuo, 2000).

Fitaz aktivitesi, genellikle 37 °C ve pH 5.5'te 5.1 mmol sodyum fitattan 1 dakikada 1 µmol inorganik fosforu açığa çıkaran enzim miktarı olarak tanımlanmaktadır (Jongbloed, 1993). Enzim aktivasyon birimi (U) ise dakikada 1 mikromol substrat dönüşümünü katalizleyen miligram enzim miktarı olarak ifade edilmektedir (Bailey ve Ollis, 1977). Fitazın aktivitesi sayesinde fitik asitin hidrolizi ile serbest kalan minerallerin, proteinlerin, vitaminlerin bağırsaklarda emilimi artmakta ve gıdanın besin değeri yükselerek biyofortifikasyonu sağlanmaktadır.

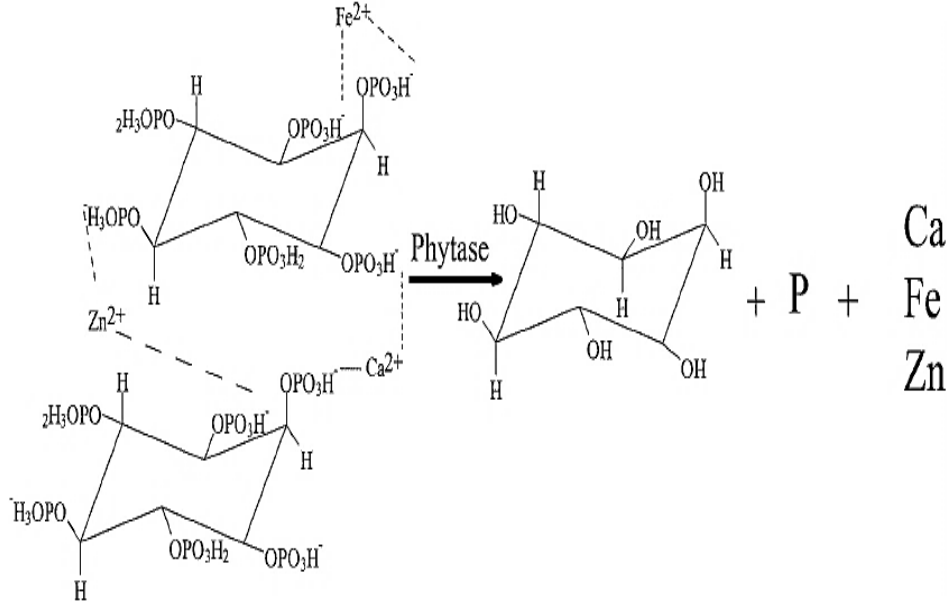
2.5.1. Fitik Asit ve Fitaz Enzimi Etki Mekanizması



Şekil 2.3. Fitatın fitaz enzimi ile hidrolizinin şematik gösterimi (Lei ve Stahl, 2001).

Fitazlar, fitik asitin hekza formunu (IP6, myo-inositol 1,2,3,4,5,6-hekzafosfat) IP5, IP4, IP3, IP2, IP1 ve myo-inositol gibi daha alt formlara dönüştürmektedir (Ragon vd., 2008). Merkez bir inositol halkası ve 6 fosfor halkasından oluşan fitik asitin hidroliziyle birlikte su açığa çıkarak fosfor, iki ve üç değerlikli metaller, proteinler ve inositoller serbest hale geçmektedir (Şekil 2.3. ve Şekil 2.4).

Fitik asitin hidroliziyle oluşan alt formlar Fe, Zn gibi metalleri, daha düşük bağlama kapasitesine sahiptir (Agte vd., 1997). Bu sayede fitazın fitik asiti parçalamasıyla serbest hale geçen mineral, protein ve diğer besin maddelerinin sindirilebilirliği artmakta ve canlı vücudu için yararlı hale gelmektedir.



Şekil 2.4. Fitazın, fitaz enzimi ile inositol fosfat ve elementlere hidrolizi (Lei ve Porres, 2003).

Fitik asitin kompleks oluşturduğu bileşiklerden besin maddelerinin serbest hale geçmesi için muhakkak fitaz enziminin aktivasyonunun sağlanması gerekmektedir. Buna bağlı olarak da fitik asitin parçalanmasını sağlayan tek sindirim enzimi olma özelliğine sahip fitazların aktif görev yapmasıyla protein ve nişastanın da serbest hale geçebildiği dikkate alınarak proteaz, amilaz gibi sindirim enzimlerinin de görev yapmasını sağlayabileceği söylenebilir. Fitazın inhibe olması veya aktif hale geçmemesine bağlı olarak gıdalarda serbest çözünebilir formda bulunamayan besin maddelerinden dolayı sindirim enzimlerinin yeterli aktivite sağlayamayacağı söylenebilir.

2.5.2. Fitazlar ve Sınıflandırılması

Fitazlar, ağırlıkları 40 kDa. ve 500 kDa. arasında değişen yüksek moleküler ağırlıklı proteinler olup, optimum sıcaklıkları 25 °C'den 80 °C'ye kadar ulaşmaktadır. Geniş bir substrat spesifiklikleri olup, genellikle optimum pH 4.5-6.0 ve optimum sıcaklıkları ise 45-60 °C'dir (Pandey vd., 2001).

β -Propeller fitaz (BPPHy), histidin asit fosfataz (HAP), purple asit fosfataz (PAP) ve sistidin fosfataz (CP) fitik asitin hidrolizini sağlayan fitaz enzim çeşitlerindendir. Bu enzimlerin her birinin, kendine özgü yapısal özellikleri bulunmakla birlikte farklı katalitik mekanizmalara sahiptir (Lei vd., 2007). β -Propeller fitaz alkali pH’da aktivite sağlayan tek fitaz türüdür. Histidin asit fosfotazlar pH 5.0 değeri civarında, alkalın fitazlar pH 8.0’e yakın değerlerde optimum aktivite sağlamaktadır (Baruah vd., 2007).

Fitazların stabilitesi pH 3.0’ün altında ve pH 7.5’in yukarısında olduğu durumlarda azalmaktadır (Scott, 1991). Mikrobiyal fitazların çoğu özellikle fungal kökenli fitazlar, 4.5-5.6 arasında optimum pH’ya sahipken, bazı bakteri fitazları, özellikle *Bacillus* suşlarından elde edilen fitazlar, 6.5-7.5 arasında optimum pH’ya sahiptir. Bitki tohumlarından elde edilen fitaz enzimlerinin ise optimum pH’sının, 4.0-7.5 aralığında olduğu bildirilmiştir (Dvorakova, 1998).

Fitazlar, ağırlıklı olarak bitkiler, mikroorganizmalar ve hayvanlar dahil olmak üzere birtakım kaynaklardan elde edilmektedirler (Konietzny ve Greiner, 2002; Vohra ve Satyanarayana, 2003; Milko vd., 2008). Fitazlar, uluslararası biyokimya birliği tarafından hidroliz olayının fitik asitin inositol molekülünün hangi karbon atomundan başladığına bağlı olmasına göre 3-fitaz ve 6-fitaz olmak üzere ayrılmaktadır. Genel olarak 3-fitazlar mikroorganizmalar için tanımlanırken, 6-fitazlar ise bitkiler için tanımlanmaktadır (Konietzny ve Greiner, 2002).

Fitaz aktivitesinin ilk olarak, pirinç kepeğinde (Suzuki vd., 1907) ve buzağıların kanında (McCollum ve Hart, 1908) bulunduğu bildirilmiştir. Daha sonra bitki, bakteri, maya ve mantarda fitaz aktivitesinin varlığı bulunmuştur. İlk ticari fitaz olan Natuphos, ilk olarak bir fungustan izole edilmiş olup, *Aspergillus niger* PhyA’ dır (Van Hartingsveldt vd., 1993; Han ve Lei, 1999) ve 1991’ de piyasaya çıkmıştır.

2.5.2.1. Bitkisel Fitazlar

Fitaz enzimi, birçok bitkisel kaynaklardan izole edilip tanımlanmış olup en önemli bitkisel fitaz kaynakları tahıllar ve kepektir. Fitaz aktivitesi birçok bitkisel gıdada var olmakla birlikte aktif halde bulunmamaktadır. Fitaz için en uygun pH ve sıcaklık ayarlanarak ıslatma, çimlendirme, fermentasyon, ısıl işlem uygulamaları gibi bazı proseslerle birlikte fitaz enzimi aktifleşerek fitik asitin hidrolizi hızlanmaktadır.

Bazı fitaz enzim kaynakları, buğday (Nakano vd., 1999), kolza tohumu (Houde vd., 1990), yulaf (Ravindran vd., 1995), pirinç (Hayakawa vd., 1989) ve çavdardır (Weremko vd., 1997). Buğday kepeği, çeltik kepeği, arpa, bezelye, fasulye, soya fasulyesi, marul, ıspanak fitaz enzim aktivitesine sahip bazı bitkisel kaynaklardır (Asada vd., 1969).

Beyaz hardal, patates, turp, çim ve zambak poleni de fitaz elde edilmiş diğer bitkisel gıdalardır (Dvorakova, 1998). Ayrıca çavdar ve tritikale (buğday x çavdar melezi) gibi bitkisel kaynaklarda da fosfataz aktivitesi bulunmaktadır (Viveros vd., 2000). Özellikle buğday ve buğday yan ürünlerinde oldukça yüksek fitaz aktivitesi bulunmaktadır. Ayrıca çimlenmiş taneler, ekşi hamur, mayalı hamur, arpanın çinlendirilmesi ve kurutulması ile elde edilen malt ununun da önemli fitaz enzim kaynaklarından olduğu bilinmektedir.

Tanelerdeki fitaz aktivitesi çoğunlukla bitki türlerine bağlı olarak değişmekle birlikte buğday ve kepeğinin yüksek fitaz aktivitesine sahip olduğu görülmektedir (Tablo 2.3). Pointillart (1991), bu konuda buğday kepeği, çeltik kepeği gibi tahılların yüksek fitaz aktivitesine sahip olduğunu ve fitat fosforunun büyük bir kısmının vücutta absorpsiyonunu sağladığını bildirmiştir.

Tablo 2.3'e göre buğday ile kıyaslandığında mısır ve soyanın sahip oldukları düşük fitaz aktivitesi, fitatları parçalamak için yeterli olamayacağı anlamına gelmektedir. Bu durum düşük fitaz aktivitesine sahip herhangi bir işlem görmemiş bu tahılları yarıyışsız hale getirmektedir. Fitaz aktivitesi düşük bu tahıllara veya tahıl unlarına endüstriyel olarak fitaz enzim katkıları ilave edilerek ya da fitaz aktivitesini artıracak prosesler uygulanarak fitatların azalması sağlanmalı ve daha sonra canlı tüketimine sunulmaları gerekmektedir.

Baklagil tohumlarının fitaz aktivitesinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda ise tohumlarının fitaz aktivitesinin 50 U/kg limitinden az olduğu bildirilmiştir (Steiner vd., 2007). Baklagil ve yağlı tohumların, tahıllardan daha düşük bir fitaz aktivitesine sahip olduğu belirtilmiştir (Egli vd., 2003).

Tablo 2.3. Bazı yemlerdeki fitat fosfor oranı ve fitaz aktivitesi (Ravindran vd., 1995)

Ham maddeler	Fitat fosforu (%)	Fitat fosforu, Toplam fosforda (%)	Fitaz Aktivitesi
Mısır	0.24	72	15
Buğday	0.27	69	1193
Sorgum	0.24	66	24
Arpa	0.27	64	582
Yulaf	0.29	67	40
Buğday Kepeği	0.92	71	2957
Soya Küspesi	0.39	60	8
Kanola Küspesi	0.70	59	16
Ayçiçeği Küspesi	0.89	77	60
Yerfıstığı Küspesi	0.48	80	3
Pamuk Tohumu	0.84	70	-

Tahıllardan, özellikle buğday ve kepeği, arpa, çavdar ve çeltik kepeğinde yüksek miktardaki fitik asit, aynı zamanda bu tahılların özellikle buğday ve kepeğinin sahip olduğu yüksek fitaz aktivitesiyle belirli şartlarda parçalanabilmekte ve serbest hale geçerek vücutta yararlılığı artırılabilir. Bu durum, buğday ve fitaz aktivitesi yüksek diğer tahılların, düşük fitaz aktivitesine sahip yağlı tohum ve baklagillere kıyasla sahip olduğu olumlu bir nitelik olarak değerlendirilebilir.

Bitkisel fitaz üretimindeki en büyük sorun, uygun maliyetli ve etkili enzimlerin henüz geliştirilememiş olmasıdır. Daha yüksek pH ve sıcaklık stabiliteleri olan mikrobiyal fitazlar, bitkisel fitazlarla karşılaştırıldığında mikrobiyal fitazların endüstriyel amaçlar için daha fazla araştırıldığı görülmektedir (Bohn vd., 2008). Bitkilerde fitaz üretimi ilk baştan beri ekonomik olamamakla birlikte, fitaz üretim prosesi zahmetli, pahalı ve zaman kaybettirici olmaktadır. Mikrobiyal orijinli fitaz üretimi ise gelişmede daha büyük potansiyele sahipken, daha fazla sorumluluk gerektirdiği ortaya konmuştur.

2.5.2.2. Mikrobiyal Fitazlar

Bakteri, maya ve funguslardan fitaz enzimleri tanımlanmış olup, günümüzde toprak fungusu olan *Aspergillus*, ticari olarak fitaz enzimi üretiminde kullanılan en önemli mikroorganizmaların başında gelmektedir. Ticari amaçlı üretilen fitaz kaynaklarından *Aspergillus niger*, *A. ficuum*, *A. fumigatus* yaygın olarak kullanılmaktadır (Wyss vd., 1999a).

Aspergillus, *Mucor*, *Penicillium* ve *Rhizopus* cinslerine ait 200'ün üzerindeki mantardan elde edilen izolatlar, etkin olarak hücresel fitaz üretmektedir. *A.niger* en etkili hücresel fitaz üreticisi olarak bilinmektedir (Shieh ve Ware, 1968). Hücresel fitaz, *A. oryzae*, *A. amstelodami*, *A. candidus*, *A. flavus* ve *A. repen* gibi *Aspergillus* türlerinde de tanımlanmıştır (Hawson ve Davis, 1983).

Mikrobiyal fitazların çoğunun pH optimumu 4.5-6.0 arasında yer almaktayken *Bacillus* sp.'ye ait nötral veya alkali fitazlar da bulunmaktadır (Kim vd., 1998; Choi vd., 2001). *A. niger* ise NRRL3135 PHy A ve Phy B olmak üzere iki farklı tip fitaz üretmektedir. Phy A'nın optimum pH'sı 5.5'tir. Buna karşılık Phy B'nin optimum'sı pH 2.0'dır (D'Silva vd., 2000). *Candida kurusei*, *Clodosporium* gibi küfler de mikrobiyal fitaz üreticisidir (Greiner ve Konietzsyn, 2006).

Mikrobiyal fitazların çoğunun sıcaklık optimumu ise 45-60 °C arasında değişmektedir. Ancak Pasamontes vd. (1997 a,b), *A. fumigatus*'a ait sıcaklığa dirençli bir fitazın 100 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda 20 dakikalık inkübasyonla sadece % 10'luk bir kayıpla aktivitesini devam ettirdiği bildirilmiştir.

Tablo 2.4. Bazı mikrobiyal fitazlar ve özellikleri (Greiner ve Konietzsyn, 2006)

Fitaz kaynağı	Spesifik aktivitesi (U/mg) (37°C)	pH optimumu	Sıcaklık optimumu (°C)
<i>Aspergillus niger</i>	50-103	2.2, 5.0-5.5	55-58
<i>Aspergillus terreus</i>	142-196	5.0-5.5	70
<i>Aspergillus fumigatus</i>	23-28	5.0-6.0	60
<i>Aspergillus oryzae</i>	11	5.5	50
<i>Aspergillus caespitosus</i>	-	5.5	80
<i>Thermomyces lanuginosus</i>	110	6	65
<i>Penicillium lycii</i>	1080	5.5	58
<i>Clodosporium</i>	909	3.5	40
<i>S. castellii</i>	418(70°C)	4.4	77
<i>Pichia anomala</i>	-	4	60
<i>Candida krusei</i>	1210	4.6	40
<i>Escherichia coli</i>	811-1800	4.5	55-60
<i>Klebsiella terrigena</i>	205	5	58
<i>Bacillus subtilis</i>	9-15	6.5 - 7.5	55-60
<i>L. sanfranciscensis</i>	-	4	45
<i>Citrobacter braakii</i>	3457	4	50

Gıda fermentasyonları için uygun olan mikrobiyal fitazlar doğal sebze fermentasyonlarından izole edilen laktik asit bakterilerinden de elde edilebilmektedir. Zamudio vd. (2001), laktik asit bakterisi olan *Pediococcus pentosaceus*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Lactobacillus casei*, *L. fermentum*, *L. delbrueckii* ve *L. Plantarum* kültürlerinin fitaz aktivitesini değerlendirmişlerdir. Laktik asit bakterileri özellikle fermentasyon süresince fitazın aktivitesini sağlayan en önemli mikroorganizma grubudur. *E.coli*, *Bacillus subtilis*, *Klebsiella terringa*, *Lactobacillus sp.*, *Pseudomonas spp.* büyüme evresinde ekstraselüler fitaz üretilir ve fitatları indirgemektedirler (Kumar vd., 2010).

Mayalardan *Saccharomyces cerevisiae* ve *Schwanniomyces castellii* (Segueilha vd., 1992) önemli fitaz üreten mayalardır. Özellikle *S. Cerevisiae* ekmek yapım proseslerinde fermentasyonda etkili bir mikroorganizma türüdür. *Pichia anomala* ve *Candida krusei* mayalarının da fitazın aktivitesini sağladığı belirtilmiştir (Vohra ve Satyanarayana, 2001; Quan vd., 2001).

Mikrobiyal fitazlar bitkisel fitazlarla karşılaştırıldığında pH ve sıcaklık stabilitelerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bitkisel fitazların aksine yüksek sıcaklık ve düşük pH değerlerinde aktivite gösteren bazı mikrobiyal fitaz enzim kaynakları mevcuttur. Bu da, bitkisel fitazlara kıyasla mikrobiyal fitazlara endüstride daha etkili bir kullanım alanı sağlamaktadır (Tablo 2.4).

2.6. Fitaz Enziminin Kullanım Alanları

Fitazlar, endüstriyel olarak biyokimyasal araştırmalarda, myo-inositol fosfat hazırlıklarında, bitki gelişim tanıtımlarında, çevresel koruma veya fosfor kirliliğiyle mücadelede, gıda ve yem endüstrisinde fitatların giderilmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Idriss vd., 2002; Greiner ve Carlsson, 2006; Singh vd., 2011). Hayvan yemlerine fitazın ilavesiyle yemlerdeki fosfor oranının artırıldığı ve gübredeki fosfat miktarının azaldığı belirtilerek olumlu sonuçlar alındığı bildirilmiştir (Sariyska vd., 2005; Lei vd., 2006). Fitazlar, aminoasitler, mineraller, fosfor ve enerji biyoyararlanımını geliştirdiği için ticari olarak kanatlı hayvan, domuz ve balık diyetlerinin içerisine de katılmaktadır. Yemlere fitaz enzimi ilavesi, fitik asitte bulunan bitkisel fosforun emiliminde yaklaşık % 50 oranında artış meydana getirmektedir. Fitatlardan fosfatı serbest bırakan fitazlar gıdanın fazla fosfor ihtiyacını da azaltmaktadır.

Fitazla beraber yapılan gıda işlemleri inorganik fosforun biyoyararlanımını artırmakta, gıdanın besin değerini geliştirmekte ve fosfor kirliliği ile mücadeleye yardım etmektedir. Toprakta ve suda aşırı fosfor birikiminin neden olduğu kirlilik fitazlar tarafından azaltılabilmektedir (Nahm, 2002).

Kanoladan *A. niger* NRRL 3135 tarafından katı bir fermentasyonla başarıyla fitaz elde edilerek (Nair ve Duvnjak, 1990; Ebune vd., 1995), çiftlik ve kümes hayvanları yemlerinde fosfor biyoyararlanım ve besin değerini artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Segueilha vd. (1993), *S.castelii* mayasından fitazın kullanılarak buğday kepeğinden fitik asitin uzaklaştırıldığını belirtmiştir.

Fitaz enzimi yem katkısı olarak kullanılmasının yanında gıda sanayinde de büyük potansiyele sahiptir. Çünkü tahıllarda, baklagillerde, soya proteinlerince zengin olan gıdalarda, soya kaynaklı mamalarda, vejetaryen diyetlerde, gelişmemiş ülkelerde fitat alımı yüksektir (Simell vd.,1989).

Fitatların sahip olduğu olumsuz etkilere cevap olarak hem gıda işlemlerinde hem de bitkisel kökenli gıdaların besleyici özelliklerinin artırılması için çalışmalar yapılmaktadır. Ekmek yapımında fungal fitazların ilavesiyle tam buğday ekmeğinin besin kalitesinin artırıldığı, ekmek yapım süresinin kısaldığı, endojen α -amilazın aktif hale getirildiği bildirilmiştir (Haros vd., 2001). Aynı zamanda gıdaların işlenmesi sırasında mısır ıslatma sıvısının hazırlanmasında, soya sütü gibi içeceklerin yapımında, bitkisel protein izolatlarının yapımında da fitazlardan yararlanılmaktadır (Grenier ve Konietzny, 2006).

2.7. Gıdalardaki Fitik Asit Seviyesini Azaltan Prosesler

Fitik asit, şelat yapma özelliğinden dolayı gıdalardaki mineral, protein ve diğer besin maddelerini vücut için yararlı hale getirdiğinden fitik asit içeren tahıl, baklagil gibi gıdaların muhakkak fitik asit içeriği azaltıldıktan sonra tüketilmeleri gerekmektedir. Fitik asitin tanelerden uzaklaştırılmasını sağlayan birkaç method bulunmaktadır. Öğütme, ıslatma, fermentasyon, hidrotermal işlemler (ısıl işlem uygulamaları), çimlendirme, tahıl ve baklagillerdeki fitik asitin uzaklaştırılması için yararlanılan bazı proseslerdir. Bu prosesler, tahıl ve baklagillerde endojen (pasif) olarak bulunan fitaz enziminin aktif hale geçmesini ve bu sayede de fitik asitin degradasyonunu sağlayarak gıdaların besin değerini yükselten işlemlerdendir.

2.7.1. Öğütme ve Kepeğin Ayrılması

Öğütme, fitik asitin tahıllardan uzaklaştırılmasında yararlanılan en yaygın geleneksel yöntemlerdendir. Fitatlar, tahılların kepek kısmında yüksek miktarda mevcut olduğundan öğütmeye birlikte kepek tabakası çeşitli oranlarda ayrılmakta olup, kepek ve kavuz tabakalarının ayrılmasına bağlı olarak tanedeki fitik asit (fitat) miktarında azalış meydana gelmektedir. Aynı zamanda tanelerin kepek tabakasının yüksek seviyede esansiyel besin maddelerini içermesi, öğütme prosesiyle kepeğin ayrılmasına bağlı olarak bazı majör mineralleri ve diyet liflerini uzaklaşmasına neden olması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Lestienne vd., 2005).

Öğütme ve kepeğin ayrılması, fitaz enziminin aktifleşmesini sağlayan bir proses olmamakla birlikte kepeğin ayrılmasına bağlı olarak tahıllardan fitik asitin uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Kepeğin ayrılması ve öğütme işlemleri geleneksel veya teknolojik olarak yapılabilmektedir. Endüstriyel olarak genellikle otomatik değirmenler kullanılmakta olup, taş değirmenler ise geleneksel öğütmede yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tahıllardan kepek ayırma işleminin manuel ile veya otomatik olarak yapılması unların fitik asit kompozisyonunu etkilemektedir. Febles vd. (2002) tarafından, bütün buğday unlarında 8.5 g kg^{-1} olan fitik asit–fosfor değerinin el yapımı rafine edilmiş unlarda ortalama 3.77 g kg^{-1} olduğunu, fabrika yapımı rafine edilmiş unlarda 2.96 g kg^{-1} olduğu belirtilmiştir. Tavajjoh vd. (2011), İran bölgesindeki buğday unları ve farklı buğday çeşitlerindeki fitik asit konsantrasyonlarını araştırdıkları bir çalışmada, mekanik ve manuel olarak öğütme sonrası unların fitik asit konsantrasyonları arasında önemli derecede farklılık olduğunu ($p<0.05$) tespit etmişlerdir. Bu çalışmada, 8.2 g kg^{-1} fitik asit içeren buğdaydan kepeğin manuel olarak ayrılmasıyla elde edilen unlardaki fitik asit konsantrasyonu 7.6 g kg^{-1} , buna karşılık mekanik olarak ayrılmasıyla elde edilen unlardaki fitik asit konsantrasyonu ise 2.6 g kg^{-1} olarak tespit edilmiştir. Manuel olarak kepeği ayrılmış olan unlardaki esansiyel elementlerin konsantrasyonunun ise mekanik işlem uygulanarak elde edilenlerden daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak öğütme yönteminin tahıl unlarının fitik asit konsantrasyonunu etkileyen en önemli işlemlerden olduğu ifade edilebilir. Geleneksel öğütme yöntemiyle elde edilen unlardaki yüksek miktardaki esansiyel elementlerin varlığı unların besinsel zenginliğini artırırken; fitik asit gibi antinutrientlerin mevcut olması ise sahip olduğu esansiyel besin maddelerinde düşük biyoyararlanıma neden olabilmektedir.

Genellikle sert buğdaylar öğütülmeye karşı daha dirençli olduklarından yumuşak buğdaylara kıyasla daha yüksek fitik asit içermektedir (Singh ve Sedeh, 1979). Yan ürün olarak işlem gören kepek ve kepek tozu fraksiyonları ise önemli bir fitik asit kaynağı olduğundan öğütmedeki toplam fitik asitin % 80'den fazlasını içermektedir. Ana ürün olarak irmiğin ise tüm fraksiyonlardaki toplam fitik asitin en fazla % 6'sını içerdiği belirtilmiştir (Yılmaz ve Ünal, 1993).

Tablo 2.5. Un randımanına bağlı olarak unun fitik asit miktarı (O'Dell vd., 1972)

Un Randımanı (%)	Fitik Asit (mg/100g)
100	350
85	270
80	230
72	130

O'Dell vd. (1972) tarafından yapılan çalışmaya göre (Tablo 2.5), tahıl unlarındaki randıman oranının içerdiği fitik asit oranını etkilediği görülmektedir. Yüksek randımanlı unlarda kepek oranının yüksek olması fitik asit oranını yükseltmektedir. Yani unlardaki randıman oranı arttıkça, içerdikleri fitik asit oranı da artmaktadır.

2.7.2. Islatma

Islatma, tanelerden fitatların uzaklaştırılmasında kullanılan etkili ve kolay yöntemlerdendir. Tahılların çimlendirilmesinde ve tahıl unlarının fermentasyonunda da yararlanılan bir metottur. Islatmanın gıdaların yapısında fiziksel ve kimyasal pozitif etkileri bulunmaktadır (Gupta vd., 2015).

Islatmayla birlikte tahıllarda bulunan fitaz enziminin aktivasyonu tahıllardaki fitik asit içeriğinin önemli bir miktarının uzaklaştırıldığı bildirilmiştir. Suda çözünen protein ve minerallerin kayba uğraması ise, işlemin de javantajlarındandır (Ertaş ve Türker, 2012). Çimlendirme öncesinde de kullanılan ıslatma prosesi sırasında fitik asitin azalması taneye su girişinin olmasıyla ilişkilendirilebilir (Kataria vd., 1989). Çünkü fitaz ve birçok enzimin aktivasyonu için belirli bir su aktivitesi (aw) düzeyine ulaşmaları gerekmektedir. Islatma işleminde, ıslatma suyunun sıcaklığı ve ıslatma süresi de fitatların parçalanmasında etkili parametrelerdendir. Ertaş ve Türker (2012) tarafından yapılan bir çalışmada, ıslatmayla tahıllarda bulunan fitaz enzimi sayesinde fitik asitin azaldığı, nohutlarda ise ıslatma

zamanının 2 saatten 12 saate çıkarılmasının fitik asit içeriğini % 55.71'den % 47.4'e kadar düşürdüğü belirtilmiştir. Sorgum unlarının oda sıcaklığında 24 saat ıslatılmasının, fitik asit seviyesini % 16-21 oranında azalttığı belirtilmiştir (Mahgoub ve Elhag, 1998).

Greiner ve Konietzny (2006), 45 °C ve 65 °C sıcaklık aralıklarında ıslatmayla pH 5-6 değerleri arasında fitazın önemli bir miktarının hidroliz olduğunu belirtmiştir. Yapılan bir çalışmada ise buğday, çavdar, kavuzlu ve kavuzsuz arpanın suda ve asetat tampon çözeltisinde (pH 4-8) 24 saat 55 °C sıcaklıkta bekletilmesiyle suda bekletilen tahıllardaki fitik asit seviyesinde % 46-77 oranında, fitazın aktivite sağladığı pH değerindeki asetat tampon çözeltisindekilerde ise % 84-99 oranında kayıp olduğu belirtilmiştir (Mameesh ve Tomar, 1993). Bu da özellikle pH değerinin tanelerdeki fitik asitin azatılmasında en önemli etkenlerden olduğunu göstermektedir.

Islatma sonrası tanelerdeki fitik asit seviyesinin azalmasına bağlı olarak tanelerin kül sindirebilirlik oranı (KSO) artmaktadır. Literatürde, inci darı gibi tahılların ıslatılmasıyla endojen ya da eksojen fitazın Fe ve Zn'nun emilimini % 2-23'e kadar artırdığı belirtilmiştir (Lestienne vd., 2005).

Islatma, aynı zamanda tahıl ve baklagillerin pişirilmesinden önce uygulanan bir ön işlemdir (Lestienne vd., 2005). Islatma ve pişirmenin beraberce uygulanması, sadece kısa bir süreliğine ıslatmaya göre fitik asitin azalmasında daha fazla etki göstermektedir (Vidal-Valverde vd., 1994). Sıcaklığın fitat fosforu miktarındaki azalmada çok etkili olduğu belirtilmiştir. Mercimek ve bezelyelerin suda ıslatılarak kaynatılmasıyla % 76 ve % 82'lik fitik asit azalması olduğu belirtilmiştir. Bu baklagillerin pişirilmesiyle ise biyolojik değerlerinde, proteinlerin sindirilebilirliği ve yararlılıklarında artış gözlemlenmiştir (Mameesh ve Tomar, 1993).

Tahıl ve baklagillerin ıslatılmasının fitik asit miktarlarının azalmasının yanında özellikle baklagillerde oligosakkarit denilen ve sindirelemeyen bu maddelerinde su ile uzaklaşmasını sağlayan bir yararı bulunmaktadır. Egounlety ve Aworh (2003), nohutların 12-14 saat ıslatılmasıyla oligosakkaritlerden olan staktoz, rafinoz ve sukrozda azalış meydana geldiğini belirtmiştir.

Pirinç üzerine yapılan bir çalışmada ise pirincin suda ıslatılarak ıslatma suyu uzaklaştırıldıktan sonra pişirilmesiyle fitik asit konsantrasyonunun % 82 oranında azaldığı belirtilmiştir. Islatma suyu uzaklaştırılmadan pişirildiğinde ise fitik asit konsantrasyonu sadece % 31 oranında azaldığı belirtilmiştir (Mameesh ve Tomar, 1993). Fitik asit de oligosakkaritler de organik bir bileşik olduklarından suda çözünmektedir ve dolayısıyla

ıslatma prosesinde ıslatma suyunun uzaklaştırılmasıyla gıdadan uzaklaşmaktadırlar. Fakat bu durumda oligosakkaritlerin uzaklaşması istenilen bir durum olarak değerlendirilirken fitik asitle birlikte suda çözünebilen mineral, protein ve vitaminlerin yüksek miktarda kayba uğraması olumsuz bir durum olarak nitelendirilebilir. Buna bağlı olarak da ıslatılan tanelerdeki ıslatma suyunun uzaklaştırılmadan fitazın aktivasyonunun sağlanmasıyla fitik asitin hidrolizinin sağlanabileceği ve su ile uzaklaşan besin kaybının azalabileceği söylenebilir.

2.7.3. Çimlendirme

Çimlendirme olayında fitik asitin degradasyonunu gerçekleştiren ve fitaz enziminin aktivasyonunu sağlayan en önemli iki faktör su aktivitesi (aw) ve sıcaklıktır. Islatma prosesinde belirtildiği üzere fitaz ve birçok enzimin aktivasyonunu sağlayan belirli bir su aktivitesi düzeyi bulunmaktadır. Çimlendirme süresince fitik asit seviyesindeki azalış çimlendirme sırasında hidrasyonla (taneye su girişi) fitaz enzim aktivitesinin artışı ile ilişkilendirilebilir (Michael ve Wiebs, 1983).

Tahılların ve baklagillerin çimlenmesi esnasında ilk oluşan yaprak (çenek) yüksek fitaz enzimine sahip olmakla birlikte fitik asit miktarı çok düşüktür. Nişasta oluşumuyla birlikte fitik asit miktarı artmakta ve fitaz aktivitesi düşmektedir (Kholdebarin ve Esslamzadeh, 2001). Buna bağlı olarak hem su aktivitesi düzeyi hem de çimlenmeyle birlikte bitkinin solunum yapmasıyla meydana gelen ısı enerjisi fitaz enziminin optimum aktivite göstermesini sağlayan pH'ya (4-6) ulaşmasını sağlamakta ve fitik asitin degradasyonunu hızlandırmaktadır.

Tohumun çimlenmesi sırasında fitatların fitaz enzimi tarafından hidroliz edilmesiyle ortaya çıkan serbest fosfor inorganik fosfor kaynağı olarak bitkiler tarafından kullanılmaktadır. 7-8 gün süren bir çimlendirme işlemiyle fitik asitin tamamının parçalanabildiği bildirilmiştir (Ashton ve Williams, 1958). Marshall vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada ise, tahıllardaki mevcut fitik asit içeriğinin 10 günlük çimlendirme işlemiyle önemli ölçüde ($p<0.05$) azalış gösterdiği tespit edilmiştir.

Masud vd. (2007), bu metodun tahılların fitik asit içeriğini % 40'a kadar azalttığını belirtmiştir. Yapılan bir çalışmada, çimlendirmeyle fitik asit fosforundaki en fazla azalma çavdarda, en düşük azalma ise mısırdaki bulunmuştur (Poiana vd., 2009). Bunun ise mısır tanesinin sahip olduğu düşük fitaz aktivitesiyle ilgili olduğu söylenebilir.

Eltayeb vd. (2007), bir darı çeşidi olan inci darının çimlendirilmesinin fitik asit içeriğini 987.19 mg/100g'dan 327.19 mg/100g seviyesine düşürdüğünü belirtmiştir. Bu da ince darının çimlendirilmesiyle fitik asit miktarında % 66'lık bir azalma meydana geldiğini göstermektedir. Yine Abdelrahman vd. (2005), çimlendirme ve fermantasyonun inci darıda beslenme karşıtı faktörleri gidererek kimyasal kompozisyonunu önemli ölçüde değiştirdiğini ve beslenme değerini artırdığını belirtmiştir.

Çimlendirmeyle birlikte meydana gelen fitik asitteki azalış, tahılların besin değerini yükseltmektedir (Wu, 1983; Tian vd., 2010). Özellikle yulafta çimlendirme işleminin serbest aminoasit içeriğinin artmasına bağlı olarak protein biyoyararlanımını da artırdığı belirtilmiştir (Tian vd., 2010).

Fayyaz vd. (2018) ise, maş fasulyelerinin 48 saat ıslatılması ve ardından 35 °C'de 3 gün çimlendirilmesinin kül miktarında önemli derecede ($p<0.05$) etkiye sahip olduğu ve kül miktarını artırdığını belirtmiştir. El-Adawy vd. (2003), maş fasulyesi, bezelye ve mercimeğin filizlenmesiyle kül miktarlarında önemli bir artış meydana geldiğini tespit etmiştir.

Singh vd. (2015) tarafından yapılan bir çalışmada, çimlendirmenin tanedeki tanen, tripsin inhibitörü (proteaz inhibitörü), fitik asitin azaltılmasında oldukça etkili olduğunu özellikle fitik asitin % 95.74 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Özellikle proteaz inhibitörlerinin çimlendirme esnasında inhibe edilmesinin çimlendirilmiş tahıl ve baklagillerin protein biyoyararlanımlarının artırılmasında önemli etkiye sahip olduğu söylenebilir.

Darının maltlaştırılması ile fitik asit içeriğinin 72 saat sonra % 23.9, 96 saat sonra % 45.3 azaldığı belirtilmiştir (Makokha vd., 2002; Coulibaly vd., 2011). Malt üretimi arpanın ıslatma, çimlendirme, kurutma ve kavurma aşamalarından meydana gelmektedir. Endüstride malt unu olarak kullanılmaktadır. Arpanın sahip olduğu kavuz, nişasta ve enzim zenginliği arpanın malt üretiminde önemini artırmaktadır (Özkara, 1997). Malt üretimi esnasında uygulanan çimlendirme işleminin amacı, polisakkaritleri ve polipeptitleri, maltoz, glikoz ve aminoasit gibi küçük moleküllü bileşiklere indirgeyen enzimlerin aktif hale geçmesidir (Özkara, 1997; Hornsey, 1999).

Çimlendirmeyle birlikte tahıllardaki diğer antinutrient bileşikler olan tanenler ve proteinlerle kompleks oluşturan polifenollerin de miktarı azalmaktadır (Camacho vd., 1992). Tahıl çimleri 1930'lu yıllardan bu yana insan sağlığına yararları nedeniyle gıda takviyesi olarak kullanılmaktadır (Yadav vd., 2013).

Çimlendirme işlemiyle aynı zamanda proteaz enzimi aktif hale geçmekte ve proteinlerin amino asit ve peptitlere hidroliz olmasını sağlamaktadır (Shewry vd., 1995). Proteaz enzimi çimlendirme prosesinde fitaz enzimi kadar öneme sahip diğer bir enzimdir. Proteaz enziminin proteinleri albümin ve globüline dönüştürmesi ile tanenin protein kalitesi artmaktadır. Tannenin lisin içeriğinde ve proteinlerin biyoyararlanımlarında artış sağlanmaktadır. Mineraller protein ile şelatlanarak daha yararlı hale gelmektedir (Sharif vd., 2013).

Çimlendirme prosesi, protez yanında amilaz ve lipaz enzimlerinin de aktifleşmesini sağlamakta ve tanelerdeki şeker ve esansiyel yağ asitleri miktarında artış meydana getirmektedir (Chavan ve Kadam, 1989; Sharif vd., 2013).

Buğday çimi, A, B ve E vitamin değerleri, aminoasit, klorofil, enzim, mineral miktarı diğer sebzelerle karşılaştırıldığında 20 kat daha yüksektir (Ashish vd., 2012). Yine çimlendirmeyeyle tohumlardaki fenolik bileşikler dolayısıyla da antioksidan miktarında artış sağlanarak, vücuttaki serbest radikallerin azalması sağlanmaktadır (Dziki vd., 2015).

Çim suyu aynı zamanda bağışıklık sistemini güçlendirici bir etkiye sahiptir. Sahip olduğu E ve C vitaminleri sayesinde biyoflavonoidler bakımından zengin bir maddedir (Yadav vd., 2013). Arpa, buğday, çavdar, yulaf gibi tahıl çimlerinin antioksidan aktivitesinin yüksek olması, gıda sanayindeki kullanımını artırmaktadır (Urbonaviciute vd., 2009). Aynı zamanda buğday çiminin hazmı kolaylaştırıcı, kanı temizlemede ve kansızlığı gidermede faydalı etkiye sahip olduğu belirtilmiştir (Ashish vd., 2012). Amerika ve Japonya’da yürütülen araştırmalarda arpa çimleri ekstraktlarının; obozite, diabet, kan dolaşım sistemi bozuklukları, anemi, eklem iltihabı, yüksek kolesterol seviyesi, böbrek hastalıkları ve kanser gibi birçok hastalığın tedavisinde yararlı olduğu tespit edilmiştir (Paulickova vd., 2007).

Tanelerin çimlendirilmesiyle fitaz başta olmak üzere çeşitli sindirim enzimlerinin aktivasyonunun artmasına bağlı olarak hem mineral hem de protein sindirebilirlik oranlarının arttığı ve çimlendirme prosesiyle endüstriyel kullanımda da önemli olan yüksek besin değerine sahip ürünlerin elde edilebileceği söylenebilir.

2.7.4. Isıl İşlem Uygulamaları (Termal İşlemler)

Gıdalara uygulanan ısı işlem proseslerindeki amaç gıdaların mikrobiyal açıdan güvenilirliğini sağlamak, kalitesini artırmak ve gıdaları tüketilebilir forma getirmektir. Sıcaklık değişiklikleri aynı zamanda gıdanın görünümünü, lezzetini ve tekstürünü de

etkilemektedir (El-Hady ve Habiba, 2003; Arif vd., 2012). Otoklavlama, kaynatma, mikrodalga işlemleri günlük hayatta ve endüstriyel olarak gıda üretimlerinde yararlanılan ısıl işlem proseslerindendir. Isıl işlemle birlikte gıdanın yapısında fiziksel ve kimyasal değişiklikler meydana gelmektedir. Fitazın fitik asiti parçalaması gibi enzimatik reaksiyonlar da ısı ve pH gibi parametrelerin etkisiyle gerçekleşebilen kimyasal reaksiyonlardandır.

Vellingiri ve Hans (2010) tarafından fitik asitin ıslatma ve pişirme esnasında büyük bir miktarının azaldığı belirtilmiştir. Otoklavlama ve mikrodalga işlemlerinin tam buğday ekmeğinde fitik asit içeriğini azalttığı ve toplam mineral miktarını ve minerallerin HCl ile ekstrakte edilebilirliğini artırdığı belirtilmiştir (Mustafa ve Adem, 2014). Yapılan birkaç araştırma, sıcaklık işlemlerinin Fe'in emilimini ve sindirebilirliğini geliştirdiğini göstermektedir (Wang vd., 2010).

Yemek pişirme proseslerinin baklagillerin sindirilebilirliklerinde pozitif etkileri bulunmaktadır (Khatoon ve Prakash, 2004). Kaynatma işleminin antinutrientlerin azaltılmasına bağlı olarak besin kalitesini artırdığı rapor edilmiştir (Rehman ve Shah, 2005). Tahıl ve baklagillere uygulanan 100 °C'de kaynatma işlemi tanelerin yumuşamasını ve tüketiciler için daha kullanılabilir hale gelmesini sağlamak ve onların duyu özelliklerini geliştirmektedir (Bishnoi ve Khetarpaul, 1993). Islatma ve kaynatmanın beraber uygulanması ise fitik asitin azaltılmasında daha etkili olmaktadır (Vidal-Valverde vd., 1994).

Literatürde, farklı ısıl işlem uygulamalarının fitik asit ve sindirilebilirlik üzerindeki etkilerinin araştırıldığı çeşitli çalışmalar bulunmakta, elde edilen bulgular ise farklılık içermektedir. Basınçlı pişirme yöntemlerinin, fitik asitin azalmasında, geleneksel pişirme yöntemine göre daha etkili olduğu ve 115 °C'de otoklavlama sonucunda buğday, pirinç, mısır rüşeymi ve soya gevreklerindeki fitik asitin önemli derecede azaldığı belirtilmiştir (Özkaya ve Özkaya, 1998). Yine arpadan elde edilen bulgurlarda, hem pişirme hem de kabuk soyma işlemlerinin fitik asit miktarını azalttığı ve bu azalmanın otoklavda pişirilen örneklerde daha fazla meydana geldiği belirtilmiştir (Köksal vd., 1999). Singh vd. (2015) ise, nohut çeşitlerine uygulanan ısıl işlem proseslerinin fitik asit içeriklerinde önemli azalışlar meydana getirdiğini, 40 dakika kaynatma işleminin ise fitik asitin azaltılmasında otoklavlamadan daha etkili olduğunu belirtmiştir.

Diğer taraftan, yüksek sıcaklık ve uzun süre basınçlı pişirme işlemleri tahıl ve baklagillerdeki mineral ve protein sindirebilirliği azaltabilmektedir. Rehman ve Salariya (2005), mercimek, nohut ve fasulyeye uygulanan ısı işlem proseslerinin fitik asit, protein ve nişasta sindirebilirlik oranları üzerine etkisini inceledikleri bir çalışmada, geleneksel kaynatma yöntemine göre pişirmede fitik asit miktarında % 24-35'lik bir azalış, otoklavlama prosesiyle ise % 28-51.6 arasında azalış meydana geldiğini; buna karşılık, baklagillere uygulanan 121 °C'de (20, 40, 60, 90 dakika) otoklavlama işlemlerinin ise baklagillerdeki protein sindirebilirliğini kaynatmaya kıyasla azalttığını belirtmişlerdir.

Wu vd. (1994), ısı işlem prosesleriyle sıcaklık ve süresinin artışına bağlı olarak protein sindirilebilirliklerinde meydana gelen azalışın elzem aminoasitlerin özellikle lizin miktarında meydana gelen azalışla ilgili olduğunu belirtmişlerdir.

Sıcaklıkla birlikte sadece fitik asit değil, tanenler, proteaz inhibitörleri, lektin ve polifenollerin de miktarı azalabilmektedir. Hefnawy (2011), yaptığı bir çalışmada, mercimekte pişirme prosesleriyle antinutrinet faktörlerin (tripsin inhibitörü, tanin ve fitik asit) azaltıldığını bildirmiştir.

Çiğ baklagiller ve bazı tahıllar bazı antifizyolojik faktörler ihtiva etmekte olup, bu bileşikler proteinleri parçalayan enzimlerin fonksiyonlarına engel olmakta ve proteinlerin sindiriminin tamamlanamamasına neden olmaktadır. Proteaz inhibitörleri, proteinleri hidroliz eden proteaz enziminin aktivitesini ve dolayısıyla proteinlerin sindirilebilirliğini azaltmaktadır (Pekşen ve Artık, 2005). Özellikle bazı baklagil ve yağlı tohumlarda bulunan bu antinutrientler, incebağırsakta proteinlerin emilimini engellemektedir (Hunt vd., 2007). Bu da, tanelere uygulanan ısı işlemlerin özellikle protein biyoyararlanımı üzerindeki önemini açıkça göstermektedir.

Termal işlemlerle birlikte proteinler ve nişasta, sindirim enzimleri sayesinde hidroliz olarak gıdaların protein kalitesinde ve sindirebilirliğinde artış meydana gelmektedir. Literatürde sıcaklık işlemlerinin proteaz inhibitörlerinin uzaklaştırılmasına ve proteinlerin denature olmasına bağlı olarak baklagillerdeki protein sindirebilirliğini artırdığı belirtilmiştir (Walker ve Kochar, 1982). Bu anlamda ısı işlemlerle birlikte proteinlerin denature olmasının proteinlerin sindirimini pozitif etkileyen en önemli etkenlerden olduğu söylenebilir.

Termal işlemlerin tahıl ve baklagillerde meydana geirdiği bu etkilerden yola çıkarak fitaz enziminin optimum aktivite sağladığı parametreler göz önünde bulundurulmasıyla bilinçli bir şekilde ısı işlem prosesleri uygulanıp besin değeri yüksek ürünler elde

edilebilir. Ancak, ısıl işlemle birlikte proteinlerin, vitaminlerin ve diğer bazı çözünebilir maddelerde önemli derecede kayıplar meydana gelebilmesi gibi dejavantajları bulunmaktadır (Barampama ve Simard, 1995).

2.7.5. Fermentasyon

Fermentasyon, dış elektron alıcısının yokluğuyla enerjinin serbest bırakılarak karbonhidratların oksitlendiği metabolik bir süreçtir (Haard vd., 1989). Başta buğday unu olmak üzere birçok tahıl unu fermente edilerek ya da fermente olmadan tüketime sunulmaktadır. Fermentasyon, tahıl tanelerindeki antinutrientlerin seviyesini azaltan *in-vitro* ortamda proteinlerin sindirebilirliğini artıran (El-Hag vd., 2002), minerallerin biyoyararlanım oranını yükselten (Badau vd., 2005) önemli proseslerden biridir.

Fermentasyonla fitik asitin degradasyonu (yıkımı) için doğal ortam ve optimum bir pH oluşmakta (Haard vd., 1989) ve buna bağlı olarak fitik asit ve diğer bazı beslenme karşı bileşiklerin miktarında azalış meydana gelmektedir. Fermentasyonla fitik asitte meydana gelen azalış, fermentasyon sırasında mikroorganizmaların aktif etkilerinden kaynaklanmaktadır (Gupta vd., 2015).

Fermentasyon süresince etkili olan en önemli aktif mikroorganizmalar laktik asit bakterileri ve mayalardır. *Saccharomyces cerevisiae* olarak bilinen ekmek mayası ekmek yapımında ve birçok tahıl ürünlerin fermentasyonunda rol almaktadır. Laktik asit bakterileri ise özellikle ekşi maya fermentasyonunda aktif rol alan diğer mikroorganizma grubudur. Fermentasyonda laktik asit bakterileri glikozdan laktik asit üretimini sağlamaktadır. Mayalar tarafından ise oksijensiz ortamda gerçekleşen alkol fermentasyonu ile CO₂ gazı meydana gelmekte ve CO₂'nin suda çözünmesi ile de karbonik asit oluşumu sağlanmaktadır. Laktik asit bakterilerinin oluşturduğu asit miktarı mayalara göre yüksek olduğundan laktik asit bakterilerinin fermentasyonda fitatların degradasyonunda daha fazla etki gösterdiği söylenebilmektedir.

Fitatlar, pH 5.0 ve yukarısında çözünmemekte ve enzimatik hidrolize uğrayamamakla (Ganzle, 2014) birlikte fitatları parçalayan fitazların stabilitesi pH 3.0'ün altında azalmaktadır (Scott, 1991). Dolayısıyla mide pH'sında fitatların çözünürlüğü mümkün olmamaktadır.

Gobbetti vd. (2014), fermentasyonla laktik asit bakterileri ve mayaların oluşturduğu asitlikle pH'nın fitik asitin hidrolizini sağlayan fitaz enziminin aktif olduğu pH 4-6 değerlerine ulaştığını ve bu sayede fitik asiti parçalayan fitaz enziminin aktivasyonunun

sağlandığını belirtmişlerdir. Leenhardt vd. (2005) ise, ekşi hamur fermentasyonunda laktik asit bakterilerinin oluşturduğu asitlikle pH 5.5'in altına düştüğü ve bu sayede fitaz aktivitesinin artmasıyla buğday unundaki fitik asit içeriğinin % 70 oranında azaldığını belirtmişlerdir.

Ekşi hamur kullanımı, aynı zamanda ekmeğin aromatik yapısını zenginleştirmekte, raf ömrünü uzatırken kalitesini de geliştirmektedir. Bu olumlu etkiler, ekşi hamur fermentasyonu sırasında laktik asit bakterilerinin ürettiği laktik (Dalié vd., 2010), asetik (Theron ve Lues, 2011) ve propiyonik asit (Dalié vd., 2010) gibi organik asitler, ekso polisakkaritler, enzimler gibi birçok metabolitin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Chavan ve Chavan, 2011; Torrieri vd., 2014).

Fermentasyonda mevcut fitaz aktivitesi, asitlik, sıcaklık, zaman, su, partikül büyüklüğü fitik asitin parçalanması için etkili parametrelerdendir (Lopez vd., 2001). Fitatların hidrolizi, fermentasyonda doğal olarak oluşan ya da sonradan ilave edilen maya ve laktik asit bakterilerinin varlığına ve tanedeki endojen fitaz seviyesine bağlıdır.

Fitaz aktivitesi maya ve laktik asit bakterilerinde olduğu gibi tahılın ham maddesinde de bulunmakla birlikte aktif halde değildir. Endojen (pasif) olarak bulunan fitaz enziminin fermentasyonla maya ve laktik asit bakterileri sayesinde aktivasyonu hızlanmakta ve bu sayede fitatların parçalanması sağlanmaktadır (Poutanen vd., 2009).

Literatürde % 2 maya oranına sahip hamurun 3 saat fermente edildiğinde fitat fosforunun yaklaşık % 25 oranında azalırken inorganik fosforun aynı oranda arttığı belirtilmiştir. Fermentasyon süresi 5 saate çıkarıldığında ise fitat fosforundaki kayıp oranının % 27'ye yükseldiği belirtilmiştir (Tangkonchitr vd., 1981). Yine ekmek yapım işlemlerinde fitazın, fitik asiti % 60'a kadar azalttığı belirtilmiştir (Erdal vd., 1998a).

Rizzello vd. (2012), yaptıkları bir çalışmada, buğday hamur formülasyonuna kepeğin eklenmesiyle fitaz aktivitesinin arttığı, özellikle kaba kepek içeren mayalanmış buğday unundaki fitaz aktivitesinin normal buğday ununa kıyasla 2 kat daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir. Yapılan diğer bir araştırmaya göre de kepeğe uygulanan ön fermentasyonla laktik asit bakterileri fitatları % 90'a kadar parçalayabilmekte ve özellikle Mg ve P iyonlarının çözünürlüğünde etkili bir artış meydana gelmektedir (Poutanen vd., 2009). Fermente bir ürün olan tarhanada ise ortama maya ilavesinin sindirilebilir protein miktarının ve protein sindirebilirlik oranının artmasında önemli etki gösterdiği belirtilmiştir (Bilgiçli ve Türker, 2004).

Rafinasyon işlemi uygulanmamış kepek oranı yüksek buğday ve diğer tahıl unlarının fitik asit içeriklerinin yüksek olmasına rağmen, bu unların fermente edilmesi durumunda sahip oldukları yüksek fitaz aktiviteleriyle fitik asit içeriklerinde önemli azalışlar meydana gelebileceği ve buna bağlı olarak tahıl unlarının besin değerlerinde artış sağlanabileceği söylenebilir. Rizzello vd. (2012) tarafından yapılan çalışmayla da desteklendiği üzere, kepek oranı yüksek tam tahıl unlarının fermente edilerek tüketilmesinin, rafine unlara kıyasla, hem tanedeki mevcut fitazın hem de fermantasyon sırasında fitaz enzim aktivitesinin artmasına bağlı olarak fitik asit miktarının azaltılmasında oldukça etki sağlayacağı söylenebilir. Rafine edilmiş unların ise kepek tabakasının yüksek seviyede uzaklaşmasına bağlı olarak fitaz aktivitelerinin düşük olduğu ifade edilebilir.

Fermantasyon sadece fitik asit değil, gıdalardaki besinlerin biyoyararlanımını ve sindirebilirliğini azaltan tanen ve polifenollerin de miktarında azalmalar meydana getirmektedir (Gupta vd., 2015). Darının 12 saat ve 24 saat fermantasyonunun gıda inhibitörleri olan fitik asit ve tanenleri azaltabildiği belirtilmiştir (Coulibaly vd., 2011).

Fermente edilmiş gıdalar bazı besinsel avantajlara sahiptir. Fermantasyonda meydana gelen organik asitler Fe ve Zn ile çözünebilir ligandlar oluşturma potansiyeline sahipken böylece zengin bir emilim sağlamaktadır. Ayrıca düşük pH patojenik mikroorganizmaların gelişimini engellemektedir. Fermantasyon prosesinden sonra protein kalitesi artmakta olup meydana gelen artış esansiyel aminoasitlerin oluşması için etki gösteren starter kültürlerin yeteneklerinden ya da proteinlerin sindirimini engelleyen protein inhibitörlerinin mikrobiyal enzimler tarafından yok edilmesiyle ilişkilendirilebilir (Gibson vd., 2006). Aynı zamanda fermantasyon prosesinde laktik asit bakterilerinin sahip olduğu proteaz enziminin yanı sıra ürettikleri organik asit gibi metabolitler sayesinde ortamın asitliği artarak tahılın doğal yapısındaki enzimler aktif hale gelmektedir. Böylelikle hem direkt hem de dolaylı olarak oluşan proteaz enzimi sayesinde proteinlerin parçalanmasıyla protein sindirebilirlik oranında artış sağlanmaktadır (Bilgiçli ve Türker, 2004; Gobbetti vd., 2014).

Öğütme, ıslatma, çimlendirme, fermantasyon, ısıl işlem uygulamaları tahıl ve baklagillerdeki fitik asit miktarlarında çeşitli oranlarda azalış meydana getirmektedir. Bu proseslerin kombinasyon halinde uygulanması ise sinerjistik etki sağlayarak tanelerdeki fitik asit miktarının azaltılmasında daha yüksek etkilere sahip olmaktadır.

Kaur vd. (2011) tarafından yapılan bir çalışmada, çimlendirilmiş inci darıya *S. diasticus*, *S. cerevisiae*, *Lactobacillus brevis* ve *L. fermentum* saf kültürlerinin karıştırılmasıyla 30 °C sıcaklıkta 72 saat fermente edilmesiyle fitat içeriğinde % 88.3'lük bir azalma olduğu belirtilmiştir.

Abdelrahman vd. (2005) ise, inci darının çimlendirilmesi ve fermente edilmesinin antinutrient faktörleri uzaklaştırarak tahılların kimyasal kompozisyonunu önemli ölçüde değiştirdiğini buna bağlı olarak da besin değerini artırdığını belirtmişlerdir. Eltayeb vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada ise, inci darı çeşitleri olan Gazira ve Gadarif için fitik asit içerikleri sırasıyla 987.19 mg/100g ve 952.51 mg/100g olan kontrol örneklerinin fitat miktarları, çimlendirmeyle sırasıyla 327.5 mg/100g ve 329.2 mg/100g, çimlendirme ve ardından 24 saat fermentasyon prosesinin uygulanmasıyla ise sırasıyla 111.10 ve 108.79 mg/100g seviyesine düştüğü tespit edilmiştir. Yine aynı çalışmada, 952.51 mg/100g fitik asit içeriğine sahip Gadarif inci darı çeşidinin ıslatılmasıyla fitik asit içeriği 722.2 mg/100g, ıslatıldıktan sonra uygulanan 24 saat fermentasyon işlemiyle ise 421.07 mg/100g olarak tespit edilmiştir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak fitik asitin azaltılmasında yararlanılan özellikle çimlendirme ve fermentasyon prosesleri başta olmak üzere, proseslerin beraber kullanılmasının sinerjistik etki meydana getirerek tahıl ve baklagillerdeki fitaz aktivitesinin artırılacağı ve dolayısıyla fitik asit seviyesinde etkili bir azalış meydana gelebileceği, bu sayede de hem kül hem de protein sindirebilirlik oranının artırılarak vücuttaki mineral ve protein biyoyararlanım oranının artmasının sağlanabileceği söylenebilir.

2.8. Materyal ve Yöntem

2.8.1. Materyal

Çalışmada, hammadde olarak kullanılan buğday Kastamonu Devrekani ilçesinde yetiştirilen 2017 yılı Temmuz ayında hasat edilen Ekiz çeşidi ekmeklik buğday (*Triticum aestivum*) türüdür. Üçbaşak un fabrikasında (Devrekani, Kastamonu) öğütme yapılarak una dönüştürülmüştür. Çalışmada kullanılan çeltik ve bundan elde edilen pirinç Kastamonu'nun Tosya ilçesinden temin edilmiştir. Arpa (Aydan hanım), yerli yulaf ve çavdar (Kara çavdar) ise Yozgat Gövdecili köyünden 2017 yılı üretiminden temin edilerek, Kastamonu İhsangazi ilçesindeki taş değirmende öğütülmüştür. Taş değirmendeki öğütme prosesi için; tahıllar selektörden geçirilerek yabancı tane ve tahıllardan ayrılmış, daha sonra sırasıyla, yıkama, tavlama, taş değirmende öğütme ve kabuk uzaklaştırma aşamalarından geçirilmiştir.



Şekil 2.5. Çalışmada kullanılan ham maddeler

Tablo 2.6. Çalışmada Kullanılan Cihazlar

Cihaz	Marka	Ülke
Su Banyosu	Gemo	Türkiye
İnkübatör	Heidolph	Almanya
Kül Fırını	Nüve	Türkiye
Hassas Terazî	Ohaus DV314C	İsviçre
Spektrofotometre	Optizen	Kore
pH metre	Ohaus	A.B.D
Santrifüj	Nüve	Türkiye
Etüv	Nüve	Türkiye
Otoklav	Nüve	Türkiye
Vorteks	Heidolph	Almanya
MagnetikKarıştırıcı	Heidolph	Almanya
Protein TayinCihazı	Şimşek Labor Teknik	Türkiye

2.8.2. Tahıl ve Baklagillere Uygulanan Prosesler

2.8.2.1. Kabuk Ayırma/ Öğütme

Arpa, çavdar ve yulaf taş değirmende öğütme işlemi uygulanarak kabuk ayırma prosesi gerçekleştirilmiştir. Taş değirmenlerde öğütme işlemi için tahıllar selektörden geçirilerek yabancı tane ve tahıllardan ayrılmış, daha sonra sırasıyla yıkama, tavlama, taş değirmende öğütme ve eleme aşamalarından geçirilmiştir. Buğday modern değirmende unda işlenmiş, temizleme, tavlama, kabuk ayırma, öğütme ve eleme aşamalarından geçirilmiştir. Çeltik ise kabuk ayırma işleminden sonra una öğütülmüştür.



Şekil 2.6. Ham maddelerde kabuk ayırma ve öğütme prosesleri

2.8.2.2. Islatma

Tahıl ve baklagil örneklerinden 10 g örnek tartılarak 10 ml su ile ıslatılmış ve oda koşullarında 12 saat süreyle bekletilmiştir.



Şekil 2.7. Ham maddelerin ıslatılması

2.8.2.3. Termal İşlemler

2.8.2.3.1. Yaş Isıl İşlem (Kaynatma)

Tahıl ve baklagil örneklerinden 10 gram örnek tartılarak 10 ml su içerisinde 100 °C’de 1 saat su banyosunda kaynatılarak ısıl işleme tabi tutulmuştur.



Şekil 2.8. Ham maddelerin kaynatılması

2.8.2.3.2. Otoklavda Isıl İşlem

Tahıl ve baklagil örneklerinden ısıya dayanıklı kaplara 10 gram örnek tartılarak 10 ml su ilave edilerek otoklavda 121 °C’de 15 dakika ısıl işleme tabi tutulmuştur.



Şekil 2.9. Ham maddelerin otoklavlanması

2.8.2.4. Çimlendirme

Tahıl ve baklagillerden 50 g alınarak 100 ml suyun içerisinde 20-24 °C’de oda koşullarında 8 saat süreyle ıslatılmıştır. Ardından bu su süzülerek, örnekler 8 saat susuz bekletme (demlenme) yapılarak kabuktaki suyun içeriye nüfuzu sağlanmıştır. Ardında 2 defa daha 8 saat suda bekletme, aralarda da 8 saat demlendirme işlemi uygulanmıştır.

Yayvan bir kap içerisinde kolay bir şekilde çimlenmeyi sağladığı için pamuk kullanılarak yaklaşık 4-5 günlük süre içerisinde örneklerin çimlenmesi sağlanmıştır. Çimlenen kısım tahıl veya baklagilin orijinal ebatına eriştiğinde çimlendirme işlemine son verilmiştir.



Şekil 2.10. Ham maddelerin çimlendirilmesi

2.8.2.5. Fermantasyon

Spontan fermentasyon tekniği kullanılan fermentasyon prosesi için buğday, yulaf, arpa, çavdar ve pirinç unu kullanılmıştır. Fermantasyon 3 aşamada gerçekleştirilmiştir. Her bir örnek için 10 gram un, 10 gram su ile karıştırılarak 25-27 °C’de 24 saat fermentasyona bırakılmıştır. Bu sürenin sonunda pH ölçülerek pH 4.5 olduğunda 10 gram un ve 10 ml su ilave edilip 12 saat fermentasyona bırakılmıştır. 12 saat fermentasyonun ardından tekrar

pH ölçülerek 10 gram un ve 10 ml su ilave edilerek 6 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda pH ölçülerek 4.5 değerine ulaştığında fermentasyon tamamlanmıştır.



Şekil 2.11. Tahıl unlarının fermente edilmesi

2.8.3. Analiz Yöntemleri

2.8.3.1. Fitik Asit Tayini

Tahıl ve baklagil hammaddelerinden 0.06 gram tartılarak 50 ml 0.1 N HCl ile 1 saat çalkalayıcıda çalkalanarak ekstrakte edilmiştir. Bu ekstrakttan paralel olarak 2 adet kuru ve temiz vida kapaklı test tüpüne 0.5 ml alınmıştır. 1 ml ferrik solüsyonu test tüpüne ilave edilip vidalı kapakla kapatılmıştır. Bu tüp 105 °C’de kaynar su banyosunda 30 dakika tutulup ve daha sonra oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Reaksiyon karışımına 2 ml 2,2-bipiridin çözeltisi (konsantrasyon= 1% 2,2 bipridin çözeltisi) ilave edilerek küvetlere aktarılmış ve 45. saniye de spektrofotometrede 519 nm dalga boyunda okuma yapılmıştır (Haug ve Lantzsch, 1983; Ahmad vd., 2013).

2.8.3.2. Fitik Asit Referans Solüsyonu

Fitik asitin sodyum tuzu ($C_6H_6O_{24}P_6Na_{12}$) referans olarak kullanılmıştır. Stok çözelti 0.15 g sodyum fitat 100 ml saf suda çözündürülmüştür. Referans solüsyon, stok solüsyonun 3 ila 30 mikrogram arasındaki aralıklarda HCl ile seyreltilmesiyle hazırlanmıştır.

2.8.3.3. Ferrik Çözeltisi (Demir-III çözeltisi)

Amonyum demir-III sülfat.12H₂O ferrik solüsyonu, 0.2 g Amonyum Demir-III sülfat.12H₂O bileşiğinin 100 ml 2 N HCl içerisinde çözündürülüp, saf ile 1000 ml’ye tamamlanmasıyla hazırlanmıştır.

2.8.3.4. 2,2-Bipiridin Çözeltisi

10 g 2,2-bipiridin ve 10 ml tiyoglikolik asit ile saf suda çözündürülüp, hacmi saf su ile 1000 ml'ye tamamlanmıştır. Bipiridin çözeltisi ekstrakte olmuş demir çözeltilerinin daha net gözükmesini ve spektrofotometrede daha doğru bir sonuç alınmasını sağlamaktadır.

2.8.3.5. Rutubet

Tez çalışmasında örnekler farklı proseslere tabi tutulacaklarından dolayı ve örneklerin fitik asit içeriklerindeki değişimin karşılaştırılabilir olması nedeniyle kuru bazda hesaplama yapılması gereklidir. Bu nedenle her örnekte proses sonrasında önce rutubet tayini yapılması gerekmektedir. 5 g örnek tartılarak önceden 100 °C'de kurutularak darası alınmış kaplara konulup, kurutma dolabında 135 °C'de 4 saat kurutulduktan sonra, kurumadan önceki ve sonraki değerler kullanılarak nem miktarı hesaplanmıştır. Rutubet kaybı, numunenin başlangıç ağırlığının yüzdesi olarak ağırlık kaybıyla hesaplanmıştır (Elgün vd., 2001; Poinot vd., 2008).

2.8.3.6. Kül

Yaklaşık 0.5 g numune sabit tartıma getirilmiş porselen krozelere tartılarak kül fırınında önce 600 °C'de 3 saat daha sonra 900 °C'de 2 saat beyaz kül oluşuncaya kadar yakılmıştır. Oda sıcaklığına kadar desikatörde soğutulup ve dara hariç tutularak, başlangıçtaki numune miktarına göre % kül oranı hesaplanmıştır (AACC Metod No: 08-01.01, 1990).

2.8.3.7. Mineral Madde İçeriği

Kabuk soyma öncesi ve sonrası mineral madde içeriğinin tespit için mikrodalga yakma ön işlemlerle ICP-OES metodu kullanılmıştır. Mikrodalgada yakma için, 1 ± 0.1 hassasiyette küçük parçalar halinde sistemin teflon şişelerin içerisine tartılıp, üzerine 7 ml HNO_3 (% 67 v/v) ve H_2O_2 ilave edilmiştir. Ağzıları kapatılarak sisteme yerleştirilen şişelere ön yakma (oda sıcaklığında) 15 dakika yükselme (1200 W'a 170 °C), 10 dakika sabit tutma (1200W'da 170 °C'de), soğutma (30 dakika) 250 W yakma programı uygulanmıştır. Örnek çözeltiler oda sıcaklığına soğutulduktan sonra 50 ml'lik polietilen şişelere aktarılıp ve 50 ml'ye ultra saf su ile tamamlanmıştır. Mineral tayini için ön işlemler yapıp ICP-OES cihazında mineral madde miktarları hesaplanmıştır (Al Khalifa ve Ahmad, 2010).

2.8.3.8. *In-vitro* Kül Sindirebilirlik Oranı (KSO)

1 gram tartılmış örnek üzerine 25 ml pepsin çözeltisi (0.03 N HCl + 2 g pepsin) ilave edilip karıştırılır. Bu karışım çalkalamalı inkübatörde 37 °C’de 3 saat tutulup, sürenin sonunda her bir örnek standart külsüz filtre kâğıdından süzülür. Filtre kâğıdında kalan kısım filtre kâğıdı ile birlikte kül fırınında yakılarak kül miktarı belirlenmiştir. Bulunan değer toplam kül miktarından çıkarılarak sindirilebilir kül miktarı bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak aşağıdaki formüle göre kül sindirebilirlik oranı (KSO) hesaplanmıştır (Saharan vd., 2001; Bilgiçli vd., 2006).

$$KSO(\%) = \frac{\text{Sindirilebilir Kül Miktarı}}{\text{Toplam Kül Miktarı}} \times 100 \quad (3.1)$$

2.8.3.9. Protein

Protein miktarı Kjeldahl yöntemine göre yarı otomatik protein tayin cihazı kullanılarak yapılmıştır. Yaklaşık 1 g numune tartılarak protein yakma cihazında yakma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra sırasıyla destilasyon, borik asit ile damıtma ve HCl ile titrasyon yapılarak sonuçlar çevirme faktörü ile çarpılmıştır. Hesaplamada kullanılan protein katsayıları buğday ve unu için 5.70, arpa, çavdar, yulaf, çeltik ve unları için 5.83, nohut, fasulye, ve yeşil mercimek için 6.25 olarak alınmıştır (AOAC 960.52, 1990).

2.8.3.10. *In-vitro* Protein Sindirebilirlik Oranı (PSO)

1 g numune alınarak 1.5 mg pepsin içeren 15 ml 0.1 M HCl ile 37 °C’de 3 saat sindirime uğratılmıştır. 7.5 ml 2 N NaOH ile nötralize edilip, 4 mg pankreatin içeren 7.5 ml fosfat tampon (pH=8.0) ilave edilerek 37 °C’de 24 saat sindirime bırakılmıştır. Reaksiyon 10 ml % 20 trikloroasetik asit (TCA) ile sonlandırılıp, 100 ml’ye tamamlanarak 5000 rpm’de 20 dakika santrüfjlenmiştir. Metoda göre çöken pelet kısmı sindirilmemiş protein ve uzun peptitleri içerdiğinden, supernatant kısmı ayrılarak bu fraksiyon Kjeldahl metodu ile azot tayinine tabi tutulmuştur. Protein sindirebilirlik oranı (PSO) aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Rizzello vd., 2014).

$$(\%) = \frac{\text{Supernatant içindeki } N \text{ Pepsindeki } N}{\text{Numunedeki } N} \quad (3.2)$$

2.8.3.11. İstatistiksel Analiz

Deneylerde elde edilen analiz sonuçlarının istatistiksel değerlendirmesi IBM SPSS 17.0.1 paket programı (SPSS Inc., Chicago, Illinois, US) kullanılarak yapılmıştır. Analiz değerlendirmelerinde ise çoklu varyans analizine (ANOVA) tabi tutulan veri ortalamaları arasındaki fark $p < 0.05$ anlamlılık düzeyinde *Tukey* çoklu karşılaştırma testi yapılarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, elde edilen proses öncesi ve sonrası değerler SPSS yardımıyla istatistiksel olarak birlikte test edilmiştir. Böylelikle uygulanan proseslerin istatistiksel olarak numunelerde meydana getirdiği farklılıklar proses öncesi ve sonrası $p < 0.05$ önem düzeyinde istatistiksel olarak değerlendirilirken; aynı zamanda, numnelerin kendi aralarında (aynı sütundaki değerler) istatistiksel olarak da değerlendirilmesi sağlanmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Ham Maddelerin Fizikokimyasal Özellikleri

Çalışmada kullanılan ham madde ve unlarının fizikokimyasal özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Ham maddelerden nohut, yulaf, çavdar, arpa ve unlarının yüzde nem miktarları arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı tespit edilirken ($p>0.05$), diğer tahıl ve baklagillerdeki yüzde nem miktarları arasında istatistiksel olarak önemli fark olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). En düşük nem oranı ise çeltikte bulunmuştur. Çeltikten pirinç üretiminde teknolojik olarak uygulanan proseslerin (kaynatma vb.), pirinçteki nem oranını (% 11.47) arttırdığı ve çeltikteki nem oranı (% 8.09) ile arasında istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) fark meydana getirdiği söylenebilir.

Tablo 3.1. Ham maddelerin rutubet, kül ve protein miktarları

Tahıl/Baklagil	Rutubet	Kül	Protein
Buğday	12.23±0.01 ^{bc}	1.2608±0.12 ^d	10.6191±0.34 ^d
Buğday unu	13.81±0.14 ^a	0.5022±0.01 ^e	9.5019±0.11 ^d
Arpa	10.42±0.17 ^e	2.0922±0.06 ^c	10.1675±0.06 ^d
Arpa unu	10.24±0.19 ^e	1.9475±0.03 ^c	10.5668±0.28 ^d
Çavdar	10.23±0.11 ^e	1.3732±0.04 ^d	9.4620±0.48 ^d
Çavdar unu	10.65±0.01 ^e	1.2916±0.00 ^d	10.6980±0.35 ^d
Yulaf	10.65±0.18 ^e	2.2936±0.08 ^c	9.217±0.13 ^d
Yulaf unu	10.10±0.02 ^e	2.2474±0.03 ^c	10.3278±0.11 ^d
Çeltik	8.09±0.08 ^f	3.4987±0.04 ^a	7.9171±0.12 ^e
Pirinç unu	11.47±0.05 ^d	0.6084±0.05 ^e	5.4393±0.07 ^f
Fasulye	12.47±0.24 ^b	3.8395±0.07 ^a	20.8375±0.74 ^b
Nohut	10.72±0.01 ^e	2.2288±0.09 ^c	16.8375±0.72 ^c
Yeşil mercimek	11.56±0.02 ^{cd}	2.6852±0.01 ^b	23.4062±0.08 ^a

*Aynı sütundaki birbirinden farklı harfler, veriler arasında istatistiksel olarak önemli bir fark ($p<0.05$) olduğunu göstermektedir.

**Hesaplama kullanılan protein katsayıları buğday ve unu için 5.70, arpa, çavdar, yulaf, çeltik ve unları için 5.83, nohut, fasulye, ve yeşil mercimek için 6.25 olarak alınmıştır.

Çalışmada, tahıllardan çeltiğin (% 3.49), baklagillerden ise fasulyenin (%3.83) en yüksek kül içeriğine sahip olduğu görülmekle birlikte, kül içeriklerinin diğer tahıl ve

baklagillere kıyasla istatistiksel olarak önemli derece de farklı olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). Hem baklagil hem de tahılların önemli bir kül kaynağı olduğu görülmektedir.

Tahıllardan çeltik, arpa ve yulafın diğer tahıllara kıyasla daha yüksek kül ihtiva ettikleri ve kül içeriklerinin diğer tahıllara kıyasla istatistiksel olarak da önemli derecede ($p<0.05$) farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Ranrotra vd. (1991), yaptıkları bir çalışmada, arpa kepeğinin % 3.7, yulaf kepeğinin ise % 2.5 kül ihtiva ettiğini belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada ise, yulaf kavuzunun % 2.5-4 kül içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2011). Bu da tahıllardaki hem kepek hem de kavuz tabakasının yüksek kül içerdiğini göstermektedir. Ayrıca bilindiği üzere tahıllardaki kül miktarı tanenin merkezinden dış tabakasına doğru artış göstermektedir (Ünal, 1991). Çalışmada bulunan sonuçlar da tahılların kepek ve kavuz tabakalarının önemli bir kül kaynağı olduğunu göstermekte ve literatür tarafından desteklenmektedir.

Çalışmada kullanılan tahıl unlarının kül miktarları ham maddeye kıyasla öğütmeye bağlı olarak azalış göstermiştir. Çeltiğin kavuzunun ayrılmasıyla elde edilen pirinçte ve buğdayın rafinasyonu ile elde edilen buğday ununda ise diğer tahıllara kıyasla yüksek bir azalış meydana gelmiştir. Çalışmada, pirincin kül miktarı (% 0.61), buğday ununun kül miktarı ise (% 0.50) olarak bulunmakla birlikte, kül miktarları diğer tahıl unlarına kıyasla istatistiksel olarak önemli derecede farklılık göstermektedir ($p<0.05$). Oghbaei ve Prakash (2013), öğütmenin unların fizikokimyasal özelliklerine etkisini inceledikleri bir çalışmada, 1.89 g/100g kül içeren tam buğday ununun rafinasyonla 0.78 g/100g kül içerdiğini belirtmiştir. Bunun nedeni, buğdaya uygulanan rafinasyon işlemleriyle kabuk tabakasının ayrılmasıyla buğday ununun düşük kül içermesine neden olmasıdır (Evers vd., 2002; Gys vd., 2004; Cordain vd., 2005). Buğdayın un miktarının fazla, kül miktarının ise düşük olması teknolojik olarak istenmekteyken (Ünal, 1979), parlatma ve rafinasyon prosesleriyle kepeğin büyük bir kısmının uzaklaştırılarak buğday ununun besin değerinin azalmasına neden olması olumsuzluk olarak değerlendirilebilir. Ayrıca çeltiğin kavuzunun ayrılması ile elde edilen pirincin büyük bir kısmının endospermden oluşması ve teknolojik olarak pirince uygulanan beyazlatma işlemleri pirincin düşük kül içermesine neden olmaktadır.

Tablo 3.1'e göre arpa, çavdar ve yulaf ile bu tahıllardan elde edilen unların kül miktarları arasındaki istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı ($p>0.05$) tespit edilmiştir. Literatürde, öğütülen tahılların unlarındaki kül miktarının un randımanından etkilendiği rapor edilmiştir (Ünal, 2002). Tez çalışmasında un değirmeninde öğütülen buğdayda önce

tavlama, sonra kabuk soyma ve öğütme prosesi söz konusudur ve belirtildiği gibi buğdaya endüstride rafinasyon işlemleri uygulanmaktadır. Pirinç unu ise pirincin kavuzundan ayrılmış olarak laboratuvar değirmeninde elde edilmiştir. Dolayısıyla taş değirmende öğütülen tahıllardaki unların randımanı dolayısıyla kül miktarları, teknolojik olarak öğütülen tahıllardan çok daha yüksek olmaktadır.

Çalışmada kullanılan arpa, yulaf ve çavdar ise taş değirmende öğütülerek un haline getirilmiştir. Bu tahıllar değirmene kavuz kısımları ile birlikte girdiklerinden, değirmende kabuk kısımları da öğütülmekte, öğütme sonunda kaba kepek eleme sistemi ile ayrılmakta ve bir miktar ince kepek eleme sırasında da una karışabilmektedir. Aynı zamanda arpanın kavuz ve endosperm kısmının morfolojik olarak birleşik yapısı tanenin öğütülmesinde aleuron başta olmak üzere kabuk kısmının endospermden tam olarak ayrılamamasına, kepek tabakasının arpa ununa karışmasına ve kül oranında belirgin bir düşüş olmamasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak çalışmada taş değirmenlerde öğütülen arpa, yulaf ve çavdardan elde edilen unların kül miktarları arasında ham maddeye kıyasla istatistiksel olarak belirgin bir fark meydana gelmediği görülmektedir ($p>0.05$). Bu durum, unların teknolojik açıdan kalitesini düşürmekle birlikte besinsel açıdan zengin olmasını sağlamaktadır.

Çalışmada kullanılan hammaddelerin protein miktarı incelendiğinde baklagillerdeki protein miktarının tahıllara kıyasla daha yüksek olduğu ve tahıllara kıyasla istatistiksel olarak önemli derecede farklı olduğu tespit edilmiştir ($p<0.05$). En yüksek protein miktarı ise baklagillerden yeşil mercimekte (% 23.41) tespit edilmiştir. Literatürde, Türksoy (2018) tarafından baklagil unlarının kimyasal, fonksiyonel ve reolojik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada, baklagil tanelerinin tahıl unlarına kıyasla daha yüksek protein içerdiği ve esansiyel aminoasit içeriğinin özellikle de lizin içeriğinin oldukça yüksek olduğu belirtilmiştir. Hatta baklagillerin tahıl unlarının protein oranlarını artırmak için kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Bu da baklagillerin önemli bir protein kaynağı olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda tez çalışması kapsamında elde edilen tahıl ve baklagillerin nem, kül ve protein analiz sonuçları Türksoy (2018) tarafından belirtilen sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Çalışmada, en düşük protein içeriği çeltikte (% 7.91) ve pirinçte (% 5.44) bulunmuştur. Morfolojik olarak çeltik büyük oranda selülozdan, çeltiğin pirince işlenmesinde kavuz kısmının ayrılması sonucunda geriye kalan pirinç ise büyük oranda nişasta başta olmak üzere karbohidrattan meydana gelmektedir. Tahıllar ve unlarının

protein miktarı değerlendirildiğinde ise çeltik ve pirinç hariç diğer tahıllar ve unları arasında protein miktarı açısından önemli bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Tahıl proteinlerinin % 70'i tanenin endospermde nişasta granülleriyle birlikte glikoprotein tabakası halinde bulunmaktadır (Yaralı, 2017). Tahılların kepeğindeki protein oranının ise düşük seviyede olduğu bilinmektedir. Tahıl unlarının yapısını oluşturan endosperm birinci derecede protein kaynağıdır. Özellikle yulaf proteinlerinin çoğu yapısal olarak depo proteinleri formunda endospermde bulunmaktadır (Klose vd., 2009). Buna bağlı olarak arpa, yulaf, çavdar ve buğdayın öğütülmesiyle elde edilen unların büyük bir kısmının endospermde oluşması sonucu tahıl ve unlarının protein miktarları arasında istatistiksel olarak bir farklılık meydana getirmediği söylenebilir.

3.2. Kabuk Ayırma Prosesinin Tahıllardaki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkisi

Kabuk uzaklaştırma öğütme aşamalarından biridir. Çeltik gibi kavuzlu tahıllarda yapılan bu işleme literatürde “dehusking veya dehulling”, buğday gibi kepekli tahıllarda ise “debranning” olarak adlandırılmaktadır. Çalışmada kullanılan tahıllara uygulanan kabuk ayırma prosesinin fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etkileri Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde herhangi bir işlem görmemiş tahılların fitik asit içeriklerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Çalışmada, kabuk ayırma öncesi çeltik ve çavdarın fitik asit içeriklerinde istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı ($p>0.05$) ve fitik asit içeriklerinin diğer tahıllara kıyasla daha düşük seviyede olduğu bulunmuştur. En yüksek fitik asit içeriği ise, buğdayda (2471.88 mg/100g) ve arpada (2328 mg/100g) tespit edilmiştir.

Kabuk uzaklaştırma prosesiyle birlikte tahılların fitik asit miktarlarında çeşitli oranlarda düşüş meydana geldiği görülmektedir. Fulcher ve Duke (2002), biyoyararlanımın sınırlandırılmasına neden olan fitik asit fosforunun büyük bir kısmının (% 87) aleuronda bulunduğunu ifade etmiştir. Gupta vd. (2015) ise, öğütle tahıllardan kepeğin ayrılmasıyla fitik asit gibi antinutrientlerin de uzaklaştırıldığını bildirmiştir. Belirtildiği üzere, tahıllarda öğütle fitik asit miktarının azalmasının temel nedeni zengin bir fitat kaynağı olan kepek ve kavuz tabakasının kısmen veya büyük oranda endospermde uzaklaştırılmasıdır.

Kabuk ayırma prosesiyle birlikte tahıllardan çavdarın fitik asit içeriğinde istatistiksel olarak önemli bir fark meydana gelmediği ($p>0.05$) tespit edilmiştir. Yapılan bir çalışmada fitik asitin buğdayda daha çok tanenin dış tabakasında bulunduğu ve farklı öğütme ürünlerinin tahıl tanelerindeki fitik asit miktarlarını da etkilediği belirtilmiştir (Camire ve Clydesdale, 1982). Çalışmada kullanılan hammaddelerden yulaf, çavdar, arpa taş değirmende öğütülerek un haline getirilmiştir. Öğütme prosesinin taş değirmende yapılması fitik asit içeriği yüksek kepek ve kavuz kısımlarının endospermden tam olarak ayrılamamasına, bir miktar ince kepeğin una karışmasına ve dolayısıyla da yulaf, çavdar ve arpanın fitik asit içeriklerinde nispeten düşük seviyede azalma meydana gelmesine neden olmuştur. Bu durum, öğütme prosesinde uygulanan basamakların tahılların fitik asit içeriğini etkilediğini açıkça göstermektedir.

Buğday ve çeltiğin öğütülmesiyle ise diğer tahıllara kıyasla fitik asit içeriklerinde istatistiksel olarak farklılıklar ($p<0.05$) meydana geldiği tespit edilmiştir. Buğday ve çeltiğin, modern tesislerde işlenmesinde teknolojiye uygulanan rafinasyon ve beyazlatma işlemlerinin kepek ve kavuz tabakalarının büyük bir kısmının uzaklaşmasın neden olduğu ve buna bağlı olarak da öğütlemeyle buğday ve çeltiğin fitik asit içeriklerinde yulaf, çavdar ve arpaya kıyasla daha büyük bir azalış meydana geldiği söylenebilir. Bu çalışmada çeltikten önce kavuz tabakası uzaklaştırılmış daha sonra elde edilen pirinç, una öğütülmüştür. Buğday ise modern tesislerde önce tavlama, kabuk soyma, öğütme ve eleme işlemlerine tabi tutulmuştur. Kabuk soyma sonrası ise buğday ve arpanın aynı zamanda çavdar ve yulafın fitik asit içeriklerinde istatistiksel olarak farklılık ($p>0.05$) olmadığı görülmektedir (Tablo 3.2).

Buğday, arpa, yulaf ve çavdarın öğütülmesiyle sindirilebilir kül miktarında istatistiksel olarak önemli bir fark meydana gelmediği ($p>0.05$) tespit edilmiştir. Çeltikte ise kavuzun ayrılmasıyla birlikte sindirilebilir kül miktarında diğer tahıllara kıyasla istatistiksel olarak önemli bir farklılık meydana geldiği ($p<0.05$) ve hem çeltiğin hem de buğdayın öğütülmesiyle ayrılan kepek ve düşen kül miktarına bağlı olarak sindirilebilir kül miktarlarında da düşüş meydana geldiği tespit edilmiştir. Buğday ve çeltikte öğütme ve kabuğun ayrılmasına bağlı olarak kavuz ve kepek tabakasının büyük bir kısmının uzaklaşmasıyla kül miktarında meydana gelen yüksek bir düşüşün sindirilebilir kül miktarında azalışa sebep olduğu söylenebilir (Tablo 3.2).

Tablo 3.2. Kabuk soyma prosesinin tahıllardaki fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etkisi

	Fitik Asit (mg/100g)		Kül Sindirebilirlik Oranı (%)		Sindirilebilir Kül Miktarı		Protein Sindirebilirlik Oranı (%)	
	Kabuk ayırma öncesi	Kabuk ayırma sonrası	Kabuk ayırma öncesi	Kabuk ayırma sonrası	Kabuk ayırma öncesi	Kabuk ayırma sonrası	Kabuk ayırma öncesi	Kabuk ayırma sonrası
Buğday	2471.88±0.31 ^a	1900.50±0.71 ^{bc}	45.38± 4.60 ^{abc}	49.61±0.49 ^{ab}	0.5721±0.16 ^{bcd}	0.2491±0.01 ^d	50.66±3.30 ^{cd}	74.46±2.19 ^{ab}
Arpa	2328.13±2.08 ^{ab}	1940.63±0.66 ^{bc}	40.72±0.00 ^{bc}	44.61±0.60 ^{abc}	0.8519±0.04 ^{ab}	0.8694±0.04 ^{ab}	36.49±0.97 ^{ef}	65.19±2.85 ^b
Çavdar	1715.63±1.10 ^c	1709.38±1.28 ^c	45.70±0.42 ^{ab}	58.3±1.20 ^a	0.6277±0.03 ^{bc}	0.7530±0.02 ^{ab}	53.81±3.19 ^c	66.51±1.09 ^{ab}
Yulaf	2050.00±2.74 ^{abc}	1818.75±0.44 ^c	36.24±2.01 ^{bc}	46.44±6.08 ^{ab}	0.8326±0.10 ^{ab}	1.0436±0.21 ^a	40.54±0.10 ^{de}	65.63±1.41 ^b
Çeltik	1559.38±0.22 ^c	921.87±0.49 ^d	30.16±1.01 ^c	58.35±2.86 ^a	1.0555±0.07 ^a	0.3550±0.01 ^{cd}	48.69±1.24 ^{cd}	66.13±0.43 ^{ab}

* Aynı sütundaki birbirinden farklı harfler ile aynı numune için proses öncesi ve sonrası farklı harfler veriler arasında istatistiksel olarak önemli fark ($p < 0.05$) olduğunu göstermektedir.

Tablo 3.1’de de gösterildiği üzere başta çeltik tanesinin kül içeriğinin yüksek olduğu görülmekteyken buna karşın çeltiğin % 30 seviyesinde düşük bir kül sindirebilirlik oranına sahip olduğu görülmektedir. Yine kavuz içeren kül içeriği yüksek arpa ve yulafın da kül sindirebilirlik oranının yüksek seviyede olmadığı tespit edilmiştir. Bu anlamda da tahıllar ne kadar yüksek mineral ve protein içeriğine sahip olsalar da vücuda alındıktan sonra içerdikleri fitik asit gibi antinutrientlerin varlığına bağlı olarak yüksek mineral ve protein biyoyararlanımına sahip olmayabilecekleri görülmektedir. Bu da fitik asitin tahıllardan uzaklaştırılmasının önemini açıkça ortaya koymaktadır.

Sindirilebilir kül miktarı uygulanan işlemin etkinliği hakkında bilgi vermekle birlikte bu etkinliğin daha iyi anlaşılmasında Kül Sindirebilirlik Oranı (KSO) daha açık bilgi vermektedir. Kabuk ayırma prosesiyle birlikte bütün tahıllarda *in-vitro* ortamda kül sindirebilirlik oranlarında (KSO) artış sağlandığı görülmektedir. Özellikle çeltik tanesine uygulanan kabuk ayırma prosesiyle diğer tahıllara kıyasla KSO’nda istatistiksel olarak önemli bir fark ($p<0.05$) meydana geldiği tespit edilmiştir. Çeltikte kabuk ayırma öncesi (% 30.16) olan KSO’nın kabuk ayırma işlemiyle sindirilebilir kül miktarının azalmasına rağmen % 93’lük bir artış sağlanarak (% 58.35) değerine ulaştığı gözlemlenmektedir. Bu da çeltiğin ham kül miktarının yüksek olması ve kavuzundan tamamen ayrılan pirinçteki fitik asit oranının düşük olmasıyla ilişkilendirilmektedir. Buğday ve arpaya uygulanan kabuk ayırma işlemi ise KSO’nın artırılmasında diğer tahıllara kıyasla düşük bir etki sağlamıştır (Tablo 3.2).

Tahıllara uygulanan öğütme işleminin *in-vitro* ortamda protein sindirebilirlik oranlarında (PSO) meydana getirdiği değişiklikler incelendiğinde tanelerin öğütülmesiyle elde edilen bütün tahıl unlarının ham maddeye kıyasla PSO’larında artış meydana geldiği tespit edilmiştir. Öğütme öncesi buğday, çavdar ve çeltik tanelerinin PSO’nda istatistiksel olarak önemli bir fark ($p>0.05$) olmadığı, öğütme sonrası ise tüm tahılların PSO’da istatistiksel olarak bir fark olmadığı ($p>0.05$) tespit edilmiştir (Tablo 3.2).

Kabuk ayırma prosesi tahıl tanelerinin KSO’na kıyasla PSO’larında daha fazla artış meydana getirdiği tespit edilmiştir. Öğütme prosesi tahıllardaki fitik asitin azaltılmasında düşük bir etki göstermekle birlikte öğütme işlemi fitik asiti parçalayan fitaz enzimini aktive eden bir proses olmadığından fitik asitin azalmasına bağlı olarak tahılların KSO ve PSO’larında meydana gelen artışın kabul edilebilir düzeyde olduğu söylenebilir.

3.3. Tahıllara Uygulanan Kabuk Ayırma Prosesinin Mineral Madde Miktarı Üzerindeki Etkisi

Çalışmada kullanılan ham maddelerin kabuk uzaklaştırma işlemi sonrası mineral madde içeriklerinde meydana gelen değişim Tablo 3.3'te gösterilmiştir. Kabuk ayırma prosesiyle birlikte bütün tahılların mineral içeriklerinde istatistiksel olarak önemli bir fark meydana geldiği tespit edilmiştir ($p<0.05$). Çalışmada kullanılan tahıl ve unlarının mineral madde içerikleri bir arada değerlendirildiğinde tahıllardaki en yüksek minerallerin sırasıyla K, P, Mg, Ca ve Na olduğu tespit edilmiştir. En yüksek K ve Ca içeriğine sahip tahıl yulaf, en yüksek P ve Na içeriğine sahip tahıl arpa, en yüksek Mg içeriğine sahip tahıl ise çeltiktir. Yapılan bir çalışmada yulafın bazı mineraller açısından arpadan biraz daha zengin olduğu (Hübner vd., 2010) belirtilmektedir. Bu çalışmada da yulaf, Ca, K, Fe, Ba, Al içeriği açısından daha zengin, Se miktarı açısından da eşit düzeyde bulunmuştur. Tahıllardaki Al, Fe, Zn, Ba ve Se miktarları ise oldukça düşük bulunmuştur. Yalnızca çeltik diğer tahıllara göre Al ve Fe içeriği açısından oldukça yüksek değerlere sahiptir (Tablo 3.3).

Fosfor (P) birçok tahılda tanenin büyümesini ve gelişmesini sağlayan önemli bir elementtir. Tanedeki fosforun % 80'i fitat fosforu olarak kepekte (aleurone) bulunmaktadır. Tane oluşumuyla birlikte fosforun tanedeki miktarı artış göstermektedir (Vats ve Banerjee, 2004). Tahıllara uygulanan kabuk soyma, parlatma, öğütme işlemleriyle kepek miktarının uzaklaştırılmasına bağlı olarak tanenin fosfor oranı da azalmaktadır. Tablo 3.3' göre buğday ve çeltikte kepek tabakasının önemli bir kısmı ayrıldığından fosfor miktarında istatistiksel olarak önemli bir fark meydana geldiği ($p<0.05$), öğütme sonrası fosfor oranının yüksek oranda azaldığı görülmektedir.

Una öğütme sırasında uygulanan kepek uzaklaştırma işleminde özellikle aleuron tabakasına kadar inilmesi, mineral madde miktarlarında önemli azalmalara neden olmaktadır. Çünkü aleuron tabakası özellikle K, P, Mg, Zn ve Cu elementleri açısından diğer buğday tabakalarına göre çok daha zengindir (Brier vd., 2015). Welch ve Graham (2004), buğdayın, kalıtsal olarak yetersiz düzeyde Zn içerdiğini belirtmişlerdir. Tablo 3.3. incelendiğinde de literatüre paralel bulgular elde edildiği görülmektedir.

Tablo 3.3. Tahıl ve unlarının mineral madde içerikleri (ppm)

	Buğday		Arpa		Çavdar		Yulaf		Çeltik	
	Kabuk ayırma öncesi	Kabuk ayırma sonrası	Kabuk ayırma öncesi	Kabuk ayırma sonrası	Kabuk ayırma öncesi	Kabuk ayırma sonrası	Kabuk ayırma öncesi	Kabuk ayırma sonrası	Kabuk ayırma öncesi	Kabuk ayırma sonrası
Na	62.4±0.60 ^c	24.2±0.50 ^g	157.8±1.00 ^a	84.9±0.50 ^b	13.9±0.30 ⁱ	26.3±0.50 ^f	21.4±0.20 ^h	46.9±0.50 ^e	48.7±0.20 ^d	5.90±0.10 ^j
Ca	356.5±3.30 ^d	253.9±2.60 ^h	325.7±3.50 ^f	279±4.30 ^g	251.7±2.70 ⁱ	374±5.20 ^c	532.7±4.90 ^a	497.9±2.50 ^b	355.1±6.10 ^e	20.5±0.70 ^j
K	3528.7±17.70 ^h	1772±3.40 ⁱ	4393.1±18.50 ^e	4347.7±22.90 ^f	4436±3.30 ^d	4480±5.80 ^c	4664.6±7.80 ^a	4534±14.80 ^b	4243.6±12.40 ^g	1232.4±4.20 ^j
Mg	765.1±2.90 ^d	251.8±2.90 ^h	786.5±1.70 ^c	834.3±2.90 ^b	707.1±2.90 ^g	764.7±4.90 ^d	734.8±1.70 ^f	754.5±1.00 ^e	903.9±2.50 ^a	224.1±0.90 ⁱ
Zn	11.3±0.10 ^d	1.5±0.10 ^j	12.7±0.00 ^c	14±0.20 ^b	9.5±0.10 ^f	14.4±0.20 ^a	7.9±0.10 ^g	10±0.00 ^e	6.1±0.10 ^h	2.7±0.00 ⁱ
Fe	11.9±0.10 ^f	2.6±0.10 ⁱ	7.1±0.00 ^g	14±0.10 ^e	3.3±0.10 ^h	32.7±0.30 ^b	24.5±0.10 ^d	26±0.20 ^c	139.6±1.30 ^a	nd
Se	2.9±0.00 ^{cd}	3.2±0.00 ^b	2.7±0.00 ^{de}	3.1±0.10 ^{bc}	2.9±0.20 ^{cd}	3.3±0.10 ^{ab}	2.5±0.20 ^{ef}	3.2±0.10 ^b	3.5±0.10 ^a	2.4±0.00 ^f
Ba	3.014±0.01 ^d	1.283±0.02 ^h	0.876±0.00 ⁱ	1.615±0.01 ^f	2.359±0.01 ^e	3.088±0.01 ^c	6.409±0.07 ^a	5.31±0.01 ^b	1.2937±0.04 ^g	0.071±0.00 ^j
Al	14.001±0.03 ^f	19.993±0.13 ^d	4.240±0.015 ^h	15.410±0.04 ^e	2.926±0.01 ⁱ	47.927±0.34 ^b	6.901±0.22 ^g	29.061±0.07 ^c	172.282±6.13 ^a	1.8651±0.27 ^j
P	1772.5±13.60 ^c	826.2±6.10 ⁱ	1819.5±4.60 ^b	1997.7±7.80 ^a	1609.3±1.40 ^f	1722.9±2.90 ^d	1187.5±3.30 ^h	1369.1±2.80 ^g	1687.8±2.50 ^e	651.4±4.60 ^j

* Aynı sütundaki birbirinden farklı harfler ile aynı numune için proses öncesi ve sonrası farklı harfler v eriler arasında istatistiksel olarak önemli fark ($p < 0.05$) olduğunu göstermektedir.

** nd: belirlenemedi.

Ekinci ve Ünal (2002) tarafından ise, buğdayda unlarda radıman arttıkça K, Mg, Cu, Zn ve Fe minerallerinin miktarlarının arttığı, Ca mineralinde ise bir değişiklik gözlemlenmediği belirtilmiştir. Tablo 3.3 incelendiğinde buğdayın un haline dönüştürülmesiyle birlikte azalan kül miktarına bağlı olarak Fe, Zn, K, Na, Mg miktarlarının azaldığı görülmektedir. Buna bağlı olarak da buğdayda kül miktarı ve mineral madde kompozisyonu arasında olumlu ilişki olduğu söylenebilmektedir. Baysal, (2012) ve Şanlıer (2012) tarafından tam buğday unu ile beyaz unun besin değeri açısından karşılaştırıldığı bir çalışmada, beyaz unda tam buğday ununa göre Ca, Fe, Mg, P, K, Zn minerallerinin daha düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir. Buna göre Tablo 3.3'teki sonuçlar literatür tarafından da desteklenmektedir.

Çalışmada buğday tanesi una işlendiğinde tüm minerallerde meydana gelen azalma istatistiki olarak önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Ancak mineral miktarlarındaki azalışlar farklı düzeylerdeki ki, bu durumun mineral maddelerin buğdayın değişik tabaka ve fraksiyonlarındaki farklı dağılımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatürde de Lorenz vd. (1980) tarafından yapılan bir araştırmada, buğdayda kül miktarı arttıkça Fe ve Zn miktarlarının göreceli olarak arttığını fakat aynı ilişkinin Ca'da görülmediği bunun nedeninin ise Ca'un tane içerisindeki bölgelere göre dağılımının farklı olmasından ileri geldiği belirtilmiştir.

Tahıllar içinde en yüksek Zn (14.40 ppm) ve Fe (32.70 ppm) içeriğine sahip çavdar unudur (Tablo 3.3). Kutman vd. (2011), yaptıkları bir çalışmada, toprağa N uygulamalarının tanedeki Fe ve Zn konsantrasyonlarını önemli derecede etkilediğini belirtmişlerdir. Artan N uygulamalarının tanedeki Zn konsantrasyonunu % 50, endospermin Zn konsantrasyonunu ise % 80 oranında artırdığını belirtmişlerdir. Bu da tanedeki protein konsantrasyonunun artmasının tanenin Zn, Fe, P ve bazı diğer minerallerin de oranını artırdığını göstermektedir. Buna göre, bazı minerallerin tanedeki kompozisyonu tanenin protein miktarıyla olumlu ilişki göstermektedir. Yine biyolojik sistemlerde Zn ile protein arasında yakın bir ilişki oluşu ve Zn'nun tanede yapısal bir bütünlük oluşturması için proteine ihtiyaç duyan metal olduğu belirtilmiştir. Yani tane proteinleri tanede Zn birikimini sağlamaktadır (Morgounov vd., 2007; Peleg vd., 2008). Bu çalışmada da literatürdeki sonuçlara paralel bulgular elde edilmiştir. Çavdar unu, en yüksek Zn ve Fe içeriğiyle birlikte aynı zamanda en yüksek protein içeriğine sahip un olarak bulunmuştur. Ekinci ve Ünal (2002) tarafından yapılan bir çalışmada ise, unlardaki protein miktarı ile K ve Mg miktarı arasında pozitif bir kolerasyon olduğu belirtilmiştir.

Tablo 3.3 incelendiğinde çavdarın taş değirmenle un haline dönüştürülmesiyle birlikte artan protein miktarına bağlı olarak Mg ve K miktarlarında artış sağlandığı görülmektedir. Weaver vd. (1981), yulafın öğütülmesiyle dış tabakasının uzaklaştırılmasına bağlı olarak bazı minerallerin arttığını ifade etmiştir. Çalışmada da yulafın öğütülmesiyle birlikte Na, Mg, Zn, Fe, Se, Al, Ba ve P miktarlarında da artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

Puminn (2003) tarafından yapılan bir çalışmada, çeltiğin P, K ve Mg açısından zengin olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada da benzer olarak çeltikte miktarı en yüksek mineraller sırasıyla P, K ve Mg olarak bulunmuştur. Çeltikten pirinç eldesinde ise mineral madde oranlarında istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bir azalış olduğu tespit edilmiştir. Bu da pirinç tanesinin tam çeltiğe oranla, bazı mineraller bakımından yoksun olduğunu göstermektedir.

Se, tahıl ve unlarındaki en düşük miktardaki element olmasına rağmen tüm tahıllarda yaklaşık aynı düzeyde bulunduğu belirlenmiş, hatta tahıllar una işlendikten sonra da diğer elementlere göre daha az değişim göstermiştir. Literatürde Se'un buğday endosperminde nişasta granüllerini çevreleyen protein matrisi ve aleurone boyunca nispeten muntazam bir şekilde bulunduğu bildirilmiştir (Moore vd., 2010). Yine Se'un, tüm tahıllarda ve tanenin tüm fraksiyonlarında neredeyse homojen olarak dağılmış tek mineral olduğu belirtilmiştir (Brier vd., 2015). Bu çalışmanın sonuçları da literatürdeki bulguları destekler niteliktedir.

3.4. Islatma Prosesinin Tahıl ve Baklagillerdeki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkisi

Tez çalışmasında, tahıl ve baklagillerin oda şartlarında 12 saat süre ile ıslatılmasıyla fitazın aktivite sağlamasına bağlı olarak fitik asit miktarlarında azalış meydana gelmiş buna bağlı olarak da *in-vitro* ortamda tanelerin sindirilebilir kül miktarlarında ve KSO'nda artış meydana geldiği tespit edilmiştir.

Islatma prosesiyle birlikte bütün tanelerin fitik asit içeriklerinde çeşitli oranlarda azalış sağlandığı görülmektedir (Tablo 3.4). Tahıllardan buğday, arpa ve yulafın ıslatılmasıyla fitik asit içeriklerinde istatistiksel olarak önemli bir farklılık ($p<0.05$) meydana geldiği görülmekle birlikte özellikle buğday ve arpanın ıslatılmasıyla daha yüksek bir fitik asit degradasyonu sağlandığı tespit edilmiştir. Çavdar ve çeltiğin ıslatma prosesi öncesi ve sonrası fitik asit miktarlarında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Diğer tahıllara kıyasla çeltiğin ıslatma öncesi daha düşük fitik asit içerdiği ve ıslatma sonrasında ise fitik asit miktarında önemli bir azalma

sağlanmadığı görülmektedir. Sert kavuzu nedeniyle suyun çeltik içerisine nüfuz etmesi diğer tahıllara kıyasla zor ve daha fazla zaman almaktadır. Çeltiğin ıslatılmasıyla fitik asit miktarında düşük bir azalış meydana gelmesi ise bununla ilişkilendirilebilir.

Baklagillerde ıslatma öncesi fitik asit içeriklerinde istatistiksel olarak önemli bir farklılık ($p>0.05$) olmadığı ıslatma prosesiyle birlikte ise nohut ve yeşil mercimeğin fitik asit miktarlarında meydana gelen azalışın istatistiksel olarak aynı seviyede olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.4).

Tahıl ve baklagiller beraber değerlendirildiğinde ıslatma öncesi buğday, arpa ve yulafın fitik asit içeriklerinin diğer tahıl ve baklagillere kıyasla daha yüksek olduğu görülmekle birlikte, ıslatma öncesi çeltik, çavdar ve baklagillerin fitik asit içeriklerinde istatistiksel olarak bir fark ($p>0.05$) olmadığı tespit edilmiştir. Islatma prosesi sonrası hem tahıl hem de baklagillerin fitik asit içeriklerinde de önemli bir farklılık ($p>0.05$) olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 3.4).

Genel olarak değerlendirildiğinde ıslatma prosesinin fitik asitin azaltılmasında baklagillere kıyasla tahıllarda daha etkili olduğu görülmektedir. Literatürde fitatın baklagil tohumlarında endospermin protein kısımlarında yoğunlaştığı belirtilmiştir (Harland ve Prosky, 1979; Ravindran vd., 1995; Lestienne vd., 2005). Günlük hayatta gıda üretim proseslerinde ıslatma işlemi tahıllara kıyasla baklagillere daha sık uygulanmaktadır. Çalışmada bulunan sonuçlara göre baklagillerin 12 saatlik süre ile ıslatılmasıyla *in-vitro* ortamda KSO'nda artış sağlanmasına rağmen daha uzun süre ıslatma yapılması ve baklagil endospermine su penetrasyonunun arttırılmasıyla fitik asit düzeyinde daha fazla azalma sağlanabileceği düşünülebilir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre tahılların kepek ve kavuz kısımlarının yüksek fitik asit içermesiyle, ıslatmayla birlikte suyun baklagil tanesinin merkezindeki endosperm tabakasına kıyasla tahıllardaki kepek ve kavuz tabaklarına daha kolay ulaşabilir olması ve artan fitaz aktivitesine bağlı olarak ıslatmayla tahıllarda daha yüksek bir fitik asit azalışı meydana geldiği söylenebilir (Tablo 3.4).

Islatma prosesinin tahılların sindirilebilir kül miktarlarında artış meydana getirdiği, bu artışın özellikle yulaf ve çeltikte istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir ($p<0.05$). Baklagillerin ıslatmasıyla da sindirilebilir kül miktarlarında istatistiksel olarak önemli artış ($p<0.05$) meydana geldiği tespit edilmiştir (Tablo 3.4). Aynı durum tahıl ve baklagillerin KSO'ları için de geçerlidir. Özellikle çeltikte % 100'lük ve yulafta ise % 72'lik bir artış sağlanmıştır.

Tablo 3.4. Islatma prosesinin tahıl ve baklagillerdeki fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etkisi

	Fitik Asit (mg/100g)		Kül Sindirebilirlik Oranı (%)		Sindirilebilir Kül Miktarı		Protein Sindirebilirlik Oranı (%)	
	Islatma öncesi	Islatma sonrası	Islatma öncesi	Islatma sonrası	Islatma öncesi	Islatma sonrası	Islatma öncesi	Islatma sonrası
Buğday	2471.88±0.31 ^a	1487.50±2.56 ^{de}	45.38±4.60 ^{gh1}	71.91±1.75 ^{bcd}	0.57±0.16 ^h	0.91±0.17 ^{fgh}	50.66±3.30 ^{cd}	47.07±1.97 ^{cd}
Arpa	2328.13±2.08 ^{ab}	1356.25±0.00 ^{de}	40.72±0.00 ^{hij}	65.72±1.67 ^{cde}	0.85±0.04 ^{fgh}	1.38±0.11 ^{de}	36.49±0.97 ^e	33.38±1.57 ^{efg}
Çavdar	1715.63±1.10 ^{cde}	1390.63±0.31 ^{de}	45.70±0.42 ^{gh1}	70.10±1.91 ^{bcd}	0.63±0.03 ^{gh}	0.96±0.11 ^{efgh}	53.81±3.19 ^{bc}	35.33±1.16 ^{ef}
Yulaf	2050.00±2.74 ^{abc}	1312.50±0.62 ^e	36.24±2.01 ^{ij}	62.49±1.78 ^{def}	0.83±0.10 ^{fgh}	1.43±0.16 ^{cd}	40.54±0.10 ^{de}	43.54±0.92 ^{de}
Çeltik	1559.38±0.22 ^{cde}	1428.13±0.13 ^{de}	30.16±1.01 ^j	60.61±0.45 ^{def}	1.06±0.07 ^{defg}	2.12±0.06 ^b	48.69±1.24 ^{cd}	13.93±1.40 ⁱ
Fasulye	1831.25±1.59 ^{bcd}	1450.00±0.09 ^{de}	53.83±1.89 ^{efg}	79.21±0.65 ^{ab}	2.07±0.16 ^b	3.04±0.04 ^a	25.98±0.08 ^{fgh}	25.07±1.19 ^{gh}
Nohut	1806.25±0.88 ^{cde}	1478.13±0.49 ^{de}	52.16±2.74 ^{fgh}	84.11±0.62 ^a	1.16±0.15 ^{def}	1.88±0.13 ^{bc}	77.29±2.24 ^a	61.00±1.10 ^b
Yeşil mercimek	1790.63±0.49 ^{cde}	1368.75±0.80 ^{de}	52.47±0.14 ^{fgh}	77.32±1.33 ^{abc}	1.41±0.05 ^{de}	2.08±0.13 ^b	71.60±2.65 ^a	20.95±0.52 ^{hi}

*Aynı sütundaki birbirinden farklı harfler ile aynı numune için proses öncesi ve sonrası farklı harfler veriler arasında istatistiksel olarak önemli fark ($p<0.05$) olduğunu göstermektedir.

Literatürde de tahılların ve fasulyelerin ıslatılmasının fitik asiti azalttığı ve sonuçta da mineral biyoyararlanımının artmasını sağladığı belirtilmiştir (Perlas ve Gibson, 2002; Coulibaly vd., 2011).

Tahılların ıslatma öncesi KSO'nın baklagillere kıyasla daha düşük olduğu fakat ıslatma prosesiyle birlikte tahılların KSO'larında daha fazla artış sağlandığı görülmektedir. Literatürde baklagil ve yağlı tohumların tahıllardan daha düşük seviyede fitaz aktivitesine sahip oldukları belirtilmiştir (Egli vd., 2003). Buna bağlı olarak, ıslatma prosesiyle tahılların baklagillere kıyasla sahip oldukları yüksek fitaz aktivitesi sayesinde, fitik asitin daha fazla hidroliz olduğu ve daha fazla mineral maddenin serbest hale geçerek tahılların kül sindirebilirlik oranlarını yükselttiği söylenebilir.

Islatma prosesi öncesi baklagillerden nohut ve yeşil mercimeğin tahıllardan ise buğday ve çeltiğin PSO'nda istatistiksel olarak bir fark olmadığı ($p>0.05$) tespit edilmiştir. Tahıl ve baklagillerin ıslatılmasının PSO'na etkisi incelendiğinde ise, buğday, arpa, yulaf ve fasulyede meydana gelen değişim istatistiki olarak önemli bulunmamakla birlikte ($p>0.05$), yulaf hariç tüm tanelerde ıslatmanın PSO'nı azalttığı tespit edilmiştir (Tablo 3.4). Bunun nedeninin özellikle çığ baklagillerde olmak üzere bazı tahıllarda da bulunabilen antinutrient bileşik olan proteaz inhibitörleri (tripsin inhibitörü)'nin ıslatma ile aktif hale gelmesi ile ilişkili olduğu söylenebilir. Literatürde, proteaz inhibitörlerinin ince bağırsaktaki tripsin, kimotripsin ve amilaz enzimlerinin aktivitelerini baskılayarak yem proteinlerinin proteolizini, aminoasit emilimini ve protein yararlanabilirliğini azalttığı belirtilmiştir (Ergün vd., 2002). Dave Oomah vd. (2011) ise, tripsin inhibitörlerinin tripsini ve sindirim enzimlerini inaktive etme ve onları bağlama kapasitesine sahip olduklarını bildirmiştir.

Çalışmada elde edilen sonuçlara ve literatüre göre tanelere uygulanan ıslatma prosesiyle birlikte fitik asitin degradasyonunun sağlandığı fakat proteinlerin bağırsaktaki sindirimini engelleyen proteaz inhibitörünü inaktive etmek için yeterli olmadığı söylenebilir. Buna bağlı olarak da çalışma kapsamında tahıl ve baklagillerin ıslatılmasıyla birlikte proteaz inhibitörünün *in-vitro* ortamda bağırsak pH'sında proteinlerin sindirimini azalttığı ve tahıl ve baklagillerin PSO'nda azalışa neden olduğu söylenebilir.

Literatürde, sıcaklık işlemlerinin bağırsakta proteinlerin emilimini engelleyen proteaz inhibitörlerinin uzaklaştırılmasına ve proteinlerin denature olmasına bağlı olarak baklagillerdeki protein sindirebilirliğini artırdığı belirtilmiştir (Walker ve Kochhar, 1982).

Bu da özellikle günlük hayatta da önemli bir yeri olan baklagillere ıslatma işleminden sonra muhakkak yeterli ısıl işlemin uygulanması gerektiğini ve baklagillerin çiğ tüketilmemesi gerektiğini göstermektedir (Tablo 3.4).

3.5. Çimlendirme Prosesinin Tahıl ve Baklagillerdeki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım üzerindeki Etkisi

Çimlendirme prosesiyle tüm tahıl ve baklagil tanelerinin fitik asit seviyelerinde meydana gelen azalışlar istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bulunmuştur (Tablo 3.5). Özellikle, tahıllardan buğday ve arpa tanelerinin çimlendirmesiyle birlikte fitik asit seviyelerindeki azalışın diğer tahıl ve baklagillere kıyasla istatistiksel olarak önemli derecede farklı ($p<0.05$) olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar fitik asitin degradasyonunda çimlendirme prosesinin yüksek düzeydeki etkisini ortaya koymaktadır. Çimlendirme öncesi baklagiller arasında fitik asit düzeyi bakımından istatistiksel olarak fark bulunmamıştır ($p>0.05$). Ayrıca çimlendirme sonrası tüm tanelerin fitik asit seviyeleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli değildir ($p>0.05$).

Literatürde de bulunan sonuçlara benzer olarak çimlendirme işleminin tanelerdeki fitat seviyesinin ve diğer antinutrient faktörlerin azaltılmasında etki gösteren bir metot olduğu belirtilmiştir (Mubarak, 2005). Eltayeb vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, inci darı çeşitleri olan Gazira ve Gadarifin sırasıyla 987.19 ve 952.51 mg/100g olan fitik asit seviyelerinin çimlendirme prosesiyle sırasıyla 327.5 ve 329.2 mg/100g seviyelerine kadar azalış gösterdiği belirtilmiştir.

Çimlendirme prosesi esnasında fitaz enzim aktivasyonu hızlanmakta ve fitatları parçalama yeteneği artmaktadır (Greiner ve Konietzny, 2006). Tez çalışması kapsamında çimlendirilmiş tanelere pH tayini yapılmış ve çimlendirilmiş tanelerin pH değerleri fitazın aktivite sağladığı pH 4-6 değerlerini arasında tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak da çimlenmiş tanelerdeki fitaz enziminin aktivitesinin arttığı ve tahıl ve baklagillerin fitik asit içeriklerinde etkili bir düşüş meydana geldiği söylenebilmektedir.

Duhan vd. (2002) ise, çimlendirmeden önce uzun bir süre ıslatma işleminin fitat içeriklerinde önemli kayıp meydana getirdiğini belirtmiştir. Fayyaz vd. (2018) tarafından, maş fasulyelerinin 48 saat ıslatılması ve ardından 35 °C’de 3 gün çimlendirilmesiyle fitik asit içeriğinde % 55’lik azalma sağlandığı belirtilmiştir. Tez çalışması kapsamında tahıl ve baklagillere çimlendirme prosesi öncesi ıslatma işlemi yapılmasının çimlendirme

prosesinin etkinliğini artırarak, fitaz enziminin aktivitesini yükselttiği ve fitat seviyesinin azaltılmasında yüksek etki sağladığı söylenebilmektedir.

Tanelere uygulanan çimlendirme prosesinin hem tahıl ve hem de baklagillerdeki sindirilebilir kül miktarlarında önemli derecede farklılık meydana getirdiği ($p<0.05$), özellikle çimlendirme sonrası tahıllarda sindirilebilir kül miktarlarının 2 katına kadar yükseldiği tespit edilmiştir. Sindirilebilir kül miktarındaki artışa bağlı olarak da çimlendirilmiş tanelerin KSO'larında artış sağlandığı görülmekte olup (Tablo 3.5) bu etkinin istatistiksel olarak önemli olduğu ($p<0.05$) belirlenmiştir. Özellikle çimlendirme sonrası yulaf (% 79.83) ve çeltiğin (% 61.29) KSO'daki artışın diğer tahıllara kıyasla önemli düzeyde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3.5).

Çimlendirme prosesi sırasında artan fitaz aktivitesine bağlı olarak fitatlardan serbest hale geçen minerallerin sindirilebilir forma gelerek KSO'nda artış meydana geldiği söylenebilmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde ise tahılların çimlendirilmesinin KSO'nın artmasında baklagillerden daha etkili olduğu ve istatistiksel olarak baklagillere kıyasla önemli farklılıklar ($p<0.05$) meydana getirdiği tespit edilmiştir. Baklagil ve yağlı tohumların tahıllardan daha düşük seviyede fitaz aktivitesine sahip olmalarına bağlı olarak (Egli vd., 2003) çimlendirmeyle tahılların fitik asit seviyesinde daha etkili bir azalış sağlandığı ve buna bağlı olarak da baklagillere kıyasla hem sindirilebilir kül miktarlarında hem de KSO'nda daha etkili düzeyde artış meydana getirerek tanelerin kül sindirebilirlik oranını artırdığı söylenebilmektedir.

Fayyaz vd. (2018), maş fasulyelerinin 48 saat ıslatılması ve ardından 35 °C'de 3 gün çimlendirilmesinin kül miktarında önemli derecede ($p<0.05$) etkiye sahip olduğu ve kül miktarını artırdığını belirtmişlerdir. El-Adawy vd. (2003), maş fasulyesi, bezelye ve mercimeğin filizlenmesiyle kül miktarlarında önemli bir artış meydana geldiğini tespit etmiştir. Çimlendirme öncesi ve sırasında taneye verilen suya bağlı olarak tanedeki toplam mineral madde içeriğinin arttığı, dolayısıyla toplam kül miktarında da artış meydana geldiği düşünülmektedir.

Önemli bir protein kaynağı olan baklagillerden nohut ve yeşil mercimeğin çimlendirilmesiyle PSO'larında istatistiksel olarak önemli bir fark ($p>0.05$) meydana gelmediği görülmektedir. Çimlendirme öncesi çok düşük protein sindirebilirlik oranına (% 25.98) sahip fasulyenin ise çimlendirilmesiyle PSO'nın önemli düzeyde arttığı (% 79.97) belirlenmiştir.

Tablo 3.5. Çimlendirme prosesinin tahıl ve baklagillerdeki fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etkisi

	Fitik asit (mg/100g)		Kül Sindirebilirlik Oranı (%)		Sindirilebilir Kül Miktarı		Protein Sindirebilirlik Oranı (%)	
	Çimlendirme öncesi	Çimlendirme sonrası	Çimlendirme öncesi	Çimlendirme sonrası	Çimlendirme öncesi	Çimlendirme sonrası	Çimlendirme öncesi	Çimlendirme sonrası
Buğday	2471.87±0.31 ^a	621.68±0.67 ^d	45.38± 4.60 ^{def}	79.97±1.39 ^{ab}	0.57±0.16 ⁱ	1.01±0.21 ^{fghi}	50.66±3.30 ^{ef}	68.54±1.00 ^{cd}
Arpa	2328.12±2.08 ^a	548.79±0.79 ^d	40.72±0.00 ^{efg}	76.76±1.06 ^{ab}	0.86±0.04 ^{ghi}	1.61±0.04 ^{cde}	36.49±0.97 ^g	74.08±1.17 ^{bcd}
Çavdar	1715.62±1.10 ^{bc}	488.48±0.07 ^d	45.70±0.42 ^{def}	83.67±0.77 ^{ab}	0.63±0.03 ^{hi}	1.15±0.06 ^{efg}	53.81±3.19 ^e	85.82±0.88 ^a
Yulaf	2050.00±2.74 ^{ab}	576.14±0.44 ^d	36.24±2.01 ^{fg}	79.83±1.33 ^{ab}	0.83±0.10 ^{ghi}	1.83±0.13 ^{bcd}	40.54±0.10 ^{fg}	79.42±1.00 ^{ab}
Çeltik	1559.37±0.22 ^c	698.19±0.54 ^d	30.16±1.01 ^g	61.29±1.58 ^c	1.06±0.07 ^{fgh}	2.14±0.11 ^b	48.69±1.24 ^{ef}	64.16±1.01 ^d
Fasulye	1831.25±1.59 ^{bc}	463.43±0.17 ^d	53.83±1.89 ^{cd}	86.03±1.06 ^a	2.07±0.16 ^{bc}	3.30±0.14 ^a	25.98±0.08 ^h	79.97±1.21 ^{ab}
Nohut	1806.25±0.88 ^{bc}	616.56±0.65 ^d	52.16±2.74 ^{cde}	83.18±0.98 ^{ab}	1.16±0.15 ^{efg}	1.85±0.14 ^{bcd}	77.29±2.24 ^{abc}	78.07±0.01 ^{abc}
Yeşil mercimek	1790.63±0.49 ^{bc}	441.36±0.80 ^d	52.47±0.14 ^{cd}	73.60±0.90 ^b	1.41±0.05 ^{def}	1.98±0.04 ^{bc}	71.60±2.65 ^{bcd}	74.16±0.77 ^{bcd}

*Aynı sütundaki birbirinden farklı harfler ile aynı numune için proses öncesi ve sonrası farklı harfler veriler arasında istatistiksel olarak önemli fark ($p<0.05$) olduğunu göstermektedir.

Tahıl tanelerinin çimlendirilmesiyle ise PSO'larında istatistiksel olarak önemli düzeyde artışlar ($p<0.05$) sağlandığı görülmektedir. Özellikle çimlenmiş yulaf, arpa ve çavdarın PSO'nda diğer tahıllara kıyasla daha yüksek seviyede artış meydana geldiği tespit edilmiştir (Tablo 3.5).

Literatürde de, çimlendirilmiş arpadan elde edilen malt ununun artan fitaz aktivitesine bağlı olarak fitik asitin parçalanmasını sağladığı belirtilmiştir (Pyler 1988; Elgün ve Ertugay, 1995). Tablo 3.5 'te görüldüğü gibi arpanın çimlendirilmesiyle meydana gelen kül ve protein sindirebilirlik oranlarında yüksek düzeydeki artış, çimlenmiş arpanın yüksek fitaz aktivitesine sahip olduğu görüşünü desteklenmektedir.

Ghavidel ve Prakash (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, çimlendirmenin bazı baklagillerdeki protein, tiamin, *in-vitro* ortamda Fe ve Ca biyoyararlanımını, *in-vitro* ortamda nişasta ve proteinlerin sindirebilirliğini önemli ölçüde geliştirdiği belirtilmiştir. Başka bir çalışmada ise, yulafa uygulanan çimlendirme işleminin toplam protein miktarında özellikle lizin, triptofan gibi esansiyel aminoasitlerin miktarında artış meydana getirdiği ve buna bağlı olarak da besin değerini artırdığı belirtilmiştir (Peterson, 1998; Skoglund vd., 2008). Adil Shah vd. (2011) ise, maş fasulyelerinin çimlendirme sırasında protein içeriklerinde artış sağlandığını bildirmiştir. Literatüre ve elde edilen sonuçlara göre çimlendirmeyeyle birlikte tanelerde özellikle esansiyel aminoasit miktarlarında meydana gelen artışın *in-vitro* ortamda PSO'nın yükselmesinde önemli etkiye sahip olduğu söylenebilir. Bu artışta proteinlerin biyoyararlılığını da azaltan fitik asitin düşmesi de etkili olmuştur.

Çimlendirme prosesiyle birlikte besin değerinin yükselmesinde önemli görevi olan fitaz enzimi kadar diğer önemli bir enzim de proteazdır. Literatürde, Sharif vd. (2013), çimlenmeyle birlikte proteaz enziminin aktivitesinin artmasıyla tanenin protein kalitesinin arttığını, lizin içeriğinde artış meydana geldiğini ve proteinlerin biyoyararlanımında yükseliş sağlandığını, minerallerin ise proteinlerle şelat yaparak daha yararlı hale geçtiğini bildirmiştir. Aynı zamanda çimlendirilmiş tohumlarda proteaz inhibitörü (tripsin inhibitörü) ve fitik asit gibi antinutrientlerin uzaklaştırılmasına bağlı olarak, protein sindirebilirliğinin arttığı bildirilmiştir (Ahmed vd., 1995; Khalil ve Mansour, 1995). Diğer taraftan Adil Shah vd. (2011), bu tespiti paralel olarak, proteinlerin sindirimini olumsuz etkileyen tripsin inhibitörünün etkisinin çimlendirme sırasında kaybolduğunu belirtmiştir.

3.6. Isıl İşlem Proseslerinin Tahıl ve Baklagillerdeki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkisi

Çalışma kapsamında tahıl ve baklagillere basınçlı ısıt işlem olan 121 °C’de 15 dakika otoklavlama ve yaş ısıt işlem olan 100 °C’de atmosfer basıncı altında 1 saat kaynatma işlemi uygulanmıştır. Basınçlı ısıt işlem günlük hayatta gıda üretimlerinde kullanılan düdüklü tenceredeki ısıt işlem prosesiyle teknik olarak aynıdır. Kaynatma prosesi de günlük hayatta gıda üretimlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Termal (ısıt) işlem proseslerinin gıdaların fiziksel ve kimyasal yapısında değişiklikler meydana getirerek pozitif etkiler oluşturmaktadır. Literatürde de yemek pişirme proseslerinin baklagillerdeki sindirilebilirlik düzeyine pozitif etkileri bulunduğu belirtilmiştir (Khatoun ve Prakash, 2004). Uygulanan ısıt işlem proseslerinin tahıl ve baklagillerdeki fitik asit ve sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etkileri Tablo 3.6 ve Tablo 3.7’ de gösterilmektedir.

3.6.1. Otoklavlama Prosesinin Tahıl ve Baklagillerdeki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkileri

121 °C’de 15 dakika otoklavlama prosesinin bütün tahıl tanelerinin fitik asit içeriklerinde azalış sağladığı görülmekle birlikte, buğday, arpa ve yulafın otoklavlanmasıyla fitik asit içeriklerinde istatistiksel olarak önemli bir fark ($p<0.05$) meydana geldiği tespit edilmiştir. Tahıllardan çavdar ve çeltiğin proses öncesi fitik asit içeriklerinde istatistiksel olarak bir fark olmadığı, otoklavlamayla birlikte ise istatistiksel olarak aynı düzeyde azalış meydana geldiği ve bu azalışın yüksek önem düzeyinde olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$). Baklagillerde de otoklavlama prosesiyle birlikte fitik asit seviyelerinde istatistiksel olarak farklılık meydana geldiği tespit edilmiştir. Baklagillerin proses öncesi fitik asit seviyelerinin istatistiksel olarak aynı olduğu ve otoklavlamayla birlikte nohut ve fasulyede istatistiksel olarak aynı seviyede ($p>0.05$) azalış meydana geldiği görülmektedir (Tablo 3.6).

Tahıl ve baklagiller birlikte değerlendirildiğinde ise otoklavlamanın çeltik ve çavdar haricindeki diğer tüm tahıllarda baklagillere kıyasla, fitik asit seviyelerinin azaltılmasında daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Rehman ve Salariya (2005), baklagil tanelerinin 121 °C otoklavlanmasıyla fitik asit seviyelerinde % 28-51.6’lık azalma meydana geldiğini bildirmişlerdir ki elde edilen sonuçlar literatürle uyum göstermektedir. Otoklavlama sonrası ise hem tahıl hem de baklagillerin fitik asit içeriklerinde istatistiksel olarak önemli fark ($p>0.05$) olmadığı tespit edilmiştir (Tablo 3.6)

Tablo 3.6. Otoklavlama prosesinin tahıl ve baklagillerde fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etkisi

	Fitik Asit (mg/100g)		Kül Sindirebilirlik Oranı (%)		Sindirilebilir Kül Miktarı		Protein Sindirebilirlik Oranı (%)	
	Otoklavlama öncesi	Otoklavlama sonrası	Otoklavlama öncesi	Otoklavlama sonrası	Otoklavlama öncesi	Otoklavlama sonrası	Otoklavlama öncesi	Otoklavlama sonrası
Buğday	2471.87±0.31 ^a	1553.13±2.43 ^{cde}	45.38±4.60 ^{cd}	53.23± 0.42 ^{bc}	0.57±0.16 ^f	0.67±0.10 ^{ef}	50.66±3.30 ^{def}	66.37±0.14 ^{bc}
Arpa	2328.12±2.08 ^{ab}	1493.75±0.62 ^{de}	40.72±0.00 ^d	54.15±1.01 ^{bc}	0.85±0.04 ^{def}	1.13±0.09 ^{cd}	36.49±0.97 ^g	60.59±1.26 ^{cd}
Çavdar	1715.62±1.10 ^{cde}	1490.63±1.81 ^{de}	45.70±0.42 ^{cd}	52.86±1.08 ^{bc}	0.63±0.03 ^{ef}	0.73±0.06 ^{def}	53.81±3.19 ^{de}	66.80±1.02 ^{bc}
Yulaf	2050.00±2.74 ^{abc}	1321.88±0.40 ^{de}	36.24±2.01 ^{de}	61.52±0.96 ^b	0.83±0.10 ^{def}	1.41±0.03 ^c	40.54±0.10 ^{fg}	60.32±1.30 ^{cd}
Çeltik	1559.37±0.22 ^{cde}	1512.5±0.02 ^{de}	30.16±1.01 ^e	62.19±0.31 ^b	1.06±0.07 ^{cde}	2.18±0.05 ^b	48.69±1.24 ^{ef}	48.99±1.76 ^{ef}
Fasulye	1831.25±1.59 ^{bcd}	1321.88±0.66 ^{de}	53.83±1.89 ^{bc}	75.75±1.55 ^a	2.07±0.16 ^b	2.91±0.24 ^a	25.98±0.08 ^h	60.27±1.36 ^{cd}
Nohut	1806.25±0.88 ^{bcd}	1315.63±0.13 ^{de}	52.16±2.74 ^{bc}	83.95±0.83 ^a	1.16±0.15 ^{cd}	1.87±0.14 ^b	77.29±2.24 ^a	78.76±0.65 ^a
Yeşil mercimek	1790.63±0.49 ^{cd}	1221.88±1.19 ^e	52.47±0.14 ^{bc}	76.49±0.98 ^a	1.41±0.05 ^c	2.05±0.11 ^b	71.60±2.65 ^{ab}	72.95±0.07 ^{ab}

* Aynı sütundaki birbirinden farklı harfler ile aynı numune için proses öncesi ve sonrası farklı harfler veriler arasında istatistiksel olarak önemli fark ($p<0.05$) olduğunu göstermektedir.

Otoklavlama prosesinin buğday ve çavdar haricindeki tahıl ve baklagillerin sindirilebilir kül miktarlarında istatistiksel olarak artış sağladığı görülmektedir ($p<0.05$). Tahıllardan yulaf ve çeltiğin, baklagillerden ise yeşil mercimeğin otoklavlanmasıyla sindirilebilir kül miktarlarında daha etkili bir artışın sağlandığı görülmektedir (Tablo 3.6).

121 °C'de 15 dakika otoklavlama prosesiyle hem baklagillerin hem de tahılların *in-vitro* ortamda KSO'larında artış sağlandığı, baklagillerin ve tahıllardan ise özellikle yulaf ve çeltiğin otoklavlanmasıyla ise KSO'larında diğer tanelere kıyasla istatistiksel olarak önemli derecede farklılıklar meydana geldiği tespit edilmiştir ($p<0.05$). Literatürde de otoklavlama ve mikrodalga işlemlerinin tam buğday ekmeğinde fitik asit içeriğini azalttığı ve toplam mineral miktarını ve minerallerin HCl ile ekstrakte edilebilirliğini artırdığı bildirilmiştir (Mustafa ve Adem, 2014). Bu da, otoklavlama prosesinin minerallerin mide pH'sında sindiriminin artmasını sağladığını göstermektedir (Tablo 3.6).

PSO'larındaki değişim değerlendirildiğinde ise baklagillere kıyasla tahılların otoklavlanmasıyla PSO'nda daha fazla artış sağladığı görülmektedir. Tahıllardan çeltik, baklagillerden ise nohut ve mercimeğin otoklavlanmasının PSO'nda istatistiksel olarak önemli bir fark ($p>0.05$) meydana getirmediği tespit edilmekteyken, baklagillerden fasulye, tahıllardan ise arpanın otoklavlanmasıyla PSO'ları nın yaklaşık 2-2.5 katına yükselerek önemli bir artış meydana getirdiği tespit edilmiştir (Tablo 3.6).

Islatma prosesinde, tahıl ve baklagillerin PSO'nda azalış meydana geldiği dikkat çekmekteyken, ısıtma işlemi prosesiyle birlikte PSO'nda artış sağlandığı görülmektedir. Literatürde, çığ baklagillerin bazı antifizyolojik faktörleri (lektin, tanin) içerdiği ve bu faktörlerin protein parçalayan enzimlerin fonksiyonlarına ve proteinlerin sindirimine engel olduğu belirtilmiştir (Pekşen ve Artık, 2005). Sıcaklık işlemlerinin bağırsakta proteinlerin emilimini engelleyen proteaz inhibitörlerinin uzaklaştırılmasına ve proteinlerin denature olmasına bağlı olarak baklagillerdeki protein sindirebilirliğini artırdığı belirtilmiştir (Walker ve Kochhar, 1982). Literatürde bulunan sonuçlarda ve Messina (2014) tarafından da belirtildiği üzere, ısıtma işlemi birlikte fasulyelerin tüketiminin besinsel faydasının artmakta olduğu ifadesi, bu çalışma sonuçlarıyla da desteklenmektedir.

3.6.2. Kaynatma Prosesinin Tahıl ve Baklagillerdeki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım Üzerindeki etkisi

Kaynatma prosesi, günlük hayatta kullanılan genel bir gıda hazırlama yöntemidir. Aynı zamanda bulgur, pirinç gibi tanelere de hem endüstride hem de geleneksel olarak üretimde belirli sıcaklıklarda kaynatma prosesi uygulanmaktadır.

Tablo 3.7. Yaş ısıt işlem (kaynatma) prosesinin tahıl ve baklagillerdeki fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etkisi

	Fitik Asit (mg/100g)		Kül Sindirebilirlik Oranı (%)		Sindirilebilir Kül Miktarı		Protein Sindirebilirlik Oranı (%)	
	Kaynatma öncesi	Kaynatma sonrası	Kaynatma öncesi	Kaynatma sonrası	Kaynatma öncesi	Kaynatma sonrası	Kaynatma öncesi	Kaynatma sonrası
Buğday	2471.87±0.31 ^a	1200.00±2.03 ^{efg}	45.38±4.60 ^{defg}	57.67±1.70 ^{bcde}	0.57±0.16 ^h	0.73±0.05 ^{gh}	50.66±3.30 ^{bcd}	55.81±1.29 ^b
Arpa	2328.12±2.08 ^{ab}	1231.25±2.56 ^{defg}	40.72±0.00 ^{efg}	64.12±0.90 ^{abc}	0.85±0.04 ^{gh}	1.34±0.08 ^{def}	36.49±0.97 ^{ef}	42.72±1.03 ^{cde}
Çavdar	1715.62±1.10 ^{bcdef}	1046.88±0.13 ^g	45.70±0.42 ^{defg}	57.46±1.74 ^{bcde}	0.63±0.03 ^h	0.79±0.01 ^{gh}	53.81±3.19 ^{bc}	58.68±1.17 ^b
Yulaf	2050.00±2.74 ^{abc}	1109.38±0.75 ^{fg}	36.24±2.01 ^{fg}	68.75±0.57 ^{ab}	0.83±0.10 ^{gh}	1.58±0.04 ^{cde}	40.54±0.10 ^{de}	25.52±1.22 ^f
Çeltik	1559.37±0.22 ^{cdefg}	1137.50±0.53 ^{fg}	30.16±1.01 ^g	60.89±2.33 ^{abcd}	1.06±0.07 ^{fgh}	2.13±0.15 ^b	48.69±1.24 ^{bcd}	33.83±2.66 ^{ef}
Fasulye	1831.25±1.59 ^{bcd}	1140.63±0.40 ^{fg}	53.83±1.89 ^{bcde}	75.94±1.05 ^a	2.07±0.16 ^b	2.92±0.19 ^a	25.98±0.08 ^f	32.55±2.12 ^{ef}
Nohut	1806.25±0.88 ^{bcde}	1218.75±2.30 ^{defg}	52.16±2.74 ^{cdef}	76.51±1.11 ^a	1.16±0.15 ^{efg}	1.71±0.06 ^{bcd}	77.29±2.24 ^a	55.01±1.20 ^b
Yeşil mercimek	1790.63±0.49 ^{bcde}	1100.00±2.12 ^{fg}	52.47±0.14 ^{bcdef}	75.99±0.57 ^a	1.41±0.05 ^{def}	2.04±0.10 ^{bc}	71.60±2.65 ^a	35.83±2.10 ^{ef}

* Aynı sütundaki birbirinden farklı harfler ile aynı numune için proses öncesi ve sonrası farklı harfler veriler arasında istatistiksel olarak önemli fark ($p < 0.05$) olduğunu göstermektedir.

Kaynatma prosesinin tahıl ve baklagillerdeki fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerinde meydana getirdiği etkiler Tablo 3.7’de verilmiştir. Atmosfer basıncında kaynatma prosesinin çeltik ve nohut hariç diğer tahıl ve baklagillerin fitik asit içeriklerinde istatistiksel olarak önemli derecede farklılıklar ($p<0.05$) meydana getirdiği tespit edilmiştir.

Tahıl ve baklagillere uygulanan kaynatma prosesiyle, buğday ve çavdar hariç olmak üzere tanelerin sindirilebilir kül miktarlarında ve KSO’larında meydana gelen artışın istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) olduğu tespit edilmiştir. Kaynatma işlemi sonrası, tahıllardan buğday ile çavdarın, baklagillerin ise tümünün KSO’ları istatistiksel olarak aynı düzeyde oldukları belirlenmiştir. Kaynatma işleminin yulaf ve çeltiğin sindirilebilir kül miktarları ve KSO’da yaklaşık 2 katlık artış meydana getirdiği görülmektedir (Tablo 3.7).

Tahıl ve baklagillere uygulanan 100 °C’de 1 saat kaynatma prosesinin PSO üzerindeki etkileri incelendiğinde kaynatmayla PSO’nda istatistiksel olarak farklılıklar ($p<0.05$) meydana geldiği tespit edilmiştir. Kaynatma prosesi sonrası buğday, arpa ve çavdarın PSO’nda artış meydana gelirken, çeltik ve yulafta azalış meydana geldiği görülmektedir. Önemli bir protein kaynağı olan baklagillerde ise fasulyenin kaynatılmasıyla PSO’nda artış sağlanırken, nohut ve yeşil mercimekte negatif etki meydana getirerek azalışa yol açtığı görülmektedir (Tablo 3.7).

3.7. Fermantasyon Prosesinin Tahıl Unlarındaki Fitik Asit, Sindirilebilir Kül ve Biyoyararlanım Üzerindeki Etkisi

Çalışma kapsamında buğday unu, çavdar unu, yulaf unu, arpa unu ve pirinç ununa spontan fermantasyon prosesi uygulanarak fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerinde meydana getirdiği etkiler değerlendirilmiştir (Tablo 3.8). Elde edilen sonuçlara göre pirinç unu hariç diğer tahıl unlarının fermantasyon öncesi fitik asit miktarlarında istatistiksel olarak bir fark olmadığı tespit edilmiştir ($p>0.05$).

Tahıl unlarının fermantasyonuyla birlikte buğday, çavdar, yulaf ve arpa unlarının fitik asit miktarlarında meydana gelen azalma istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) bulunmuştur. Aslında pirincin fitik asit miktarında da düşme meydana gelmekle birlikte başlangıç düzeyi diğer tahıl unlarına göre daha düşük olduğundan meydana gelen azalma istatistiki olarak önemsiz ($p>0.05$) bulunmuştur. Literatürde fitik asitin pirincin endosperm tabakasında % 0.004 seviyesinde bulunduğu belirtilmiştir (O'Dell vd., 1972). Bu değer diğer tahıllara göre oldukça düşük bir değerdir.

Literatürde, fitazların geniş bir substrat spesifiklikleri olup genellikle pH 4.5-6.0 aralıklarında optimum aktivite sağladığı bildirilmiştir (Pandey vd., 2001). Ayrıca, Leenhardt vd. (2005), ekşi hamur fermentasyonunda laktik asit bakterilerinin oluşturduğu asitlikle pH'nın 5.5'in altına düştüğünü ve bu sayede fitaz aktivitesinin artmasıyla buğday unundaki fitik asit içeriğinin % 70 oranında azaldığını belirtmişlerdir.

Tez çalışmasında fermente edilmiş tahıl unlarının pH değerleri buğdayda 4.5, yulafda 4.6, çavdarda 4.7, arpada 4.6, pirinçte ise 4.1 değerleri arasında tespit edilmiştir. Dolayısıyla fermentasyon sonucu tahıl unlarının pH değerlerinin, fitaz enziminin optimum aktivite gösterdiği pH (4-6) aralığında tespit edilmesi nedeniyle, fitik asit içeriklerindeki azalmanın bu durumdan kaynaklandığı söylenebilir.

Yapılan bir çalışmada, fitik asitte meydana gelen azalışın fermentasyon sırasında mikroorganizmaların aktif etkilerinden kaynaklandığı belirtilmiştir (Gupta vd., 2015). Bu çalışmada da, fermente tahıl unlarının fitik asit seviyelerinde meydana gelen etkili düşüşün hamur fermentasyon sürecinde aktif rol alan laktik asit bakterileri ve mayaların etkisiyle oluşan doğal asitlikle birlikte fitazın yüksek aktivasyon sağlamasına dayandırılabilir. Bu da çimlendirme sürecinde de ifade edildiği üzere pH'nın tahıllardaki fitik asit seviyesinin azaltılmasında en önemli parametrelerden biri olduğunu göstermektedir.

Tahıl unlarının fermentasyonu ile fitik asit içeriklerinde buğdayda % 65, arpa ununda % 67, yulaf ve çavdar ununda % 60, pirinç ununda ise % 22'lik bir azalış meydana geldiği tespit edilmiştir. Rizzello vd. (2012), yaptıkları bir çalışmada, buğday hamur formülasyonuna kepeğin eklenmesiyle fitaz aktivitesinin arttığı özellikle kaba kepek içeren mayalanmış buğday unundaki fitaz aktivitesinin normal buğday ununa kıyasla 2 kat daha yüksek bulunduğu bildirilmiştir. Bu da, tahıl kepeğinin yüksek fitaz aktivitesine sahip olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada da, kepek içeriği daha yüksek olan yulaf, arpa ve çavdar unlarının fermentasyonu ile fitaz enziminin yüksek aktivasyon sağlayarak fitik asiti yüksek düzeyde uzaklaştırdığı söylenebilir. Pirinç ununun fermentasyonunda ise fitik asit seviyesinde meydana gelen düşük bir azalışın sebebi hem kepek tabakası ihtiva etmemesine bağlı olarak düşük fitaz aktivitesine sahip olması ile ilişkilendirilebilir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8. Fermentasyon prosesinin tahıl unlarındaki fitik asit, sindirilebilir kül ve biyoyararlanım üzerindeki etkisi

	Fitik asit (mg/100g)		Kül Sindirebilirlik Oranı (%)		Sindirilebilir Kül Miktarı		Protein Sindirebilirlik Oranı (%)	
	Fermentasyon öncesi	Fermentasyon sonrası	Fermentasyon öncesi	Fermentasyon sonrası	Fermentasyon öncesi	Fermentasyon sonrası	Fermentasyon öncesi	Fermentasyon sonrası
Buğday unu	1900.00±0.71 ^a	662.50±0.18 ^b	49.61±0.49 ^b	80.50±1.22 ^a	0.25±0.01 ^e	0.40±0.02 ^e	74.46±2.19 ^{abc}	80.22±0.37 ^a
Arpa unu	1940.62±0.66 ^a	639.06±1.52 ^b	44.61±0.60 ^b	82.53±1.23 ^a	0.87±0.04 ^{bc}	1.61±0.07 ^a	65.19±2.85 ^e	70.51±0.14 ^{bcde}
Çavdar unu	1709.37±1.28 ^a	678.12±0.09 ^b	58.30±1.20 ^b	84.37±1.67 ^a	0.75±0.02 ^{cd}	1.09±0.03 ^b	66.51±1.09 ^{cde}	74.13±0.46 ^{abcd}
Yulaf unu	1818.75±0.44 ^a	714.06±0.24 ^b	46.44±6.08 ^b	81.71±0.12 ^a	1.04±0.21 ^{bc}	1.84±0.04 ^a	65.63±1.41 ^e	74.64±0.44 ^{abc}
Pirinç unu	921.87±0.49 ^b	718.75±0.75 ^b	58.35±2.86 ^b	83.98±1.91 ^a	0.36±0.01 ^e	0.51±0.07 ^{de}	66.13±0.43 ^{de}	77.39±0.32 ^{ab}

*Aynı sütundaki birbirinden farklı harfler ile aynı numune için proses öncesi ve sonrası farklı harfler veriler arasında istatistiksel olarak önemli fark ($p<0.05$) olduğunu göstermektedir.

Fermantasyon işlemiyle arpa, yulaf ve çavdar unlarının sindirilebilir kül miktarlarında meydana gelen artışın istatistiksel olarak önemli ($p<0.05$) olduğu, buğday ve pirinç ununda ise meydana gelen artışın istatistiksel olarak önemli olmadığı ($p>0.05$) tespit edilmiştir (Tablo 3.8).

Tahıl unlarının fermentasyonunun KSO'larında da önemli ($p<0.05$) düzeyde artış meydana getirdiği belirlenmiştir. Özellikle arpa unun fermente edilmesinin sindirilebilir kül miktarının yaklaşık 2 katına yükselerek KSO'nda % 85'lik bir artış sağladığı tespit edilmiştir. Fermantasyonla diğer tahılların KSO'ndaki artış ise yaklaşık olarak buğdayda % 62, çavdarda % 45, yulafta % 75, pirinçte ise % 42 olarak tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak fermentasyonla en yüksek KSO arpada en düşük ise çavdar ve pirinçte bulunmuştur (Tablo 3.8).

Literatürde, ekşi hamurdan elde edilmiş ekmekle beslenen farelerde mayalı ekmeğe kıyasla ferritin, hematokrin, hemoglobin ve demir seviyelerinin önemli düzeyde yüksek olduğu, hem de vücuttan atılan demir seviyesinde önemli azalma sağlandığı belirtilmiştir (Gobbetti vd., 2014). Hamur fermentasyonunda ekmek mayası olarak adlandırılan *Saccharomyces cerevisiae* aktif rol alırken, ekşi maya fermentasyonunda hem maya hem de laktik asit bakterilerinin rol alması, ortam asitliğini arttırmakta bu da fitaz enzim aktivitesini yükseltmekte ve fitatın yıkımına bağlı olarak minerallerin biyoyararlanımındaki artışın ifadesi olarak KSO'nı da arttırmaktadır. Buna bağlı olarak ekşi hamur fermentasyonu ile elde edilen tahıl ürünlerinde daha yüksek mineral biyoyararlanım meydana gelmektedir.

Tahıl unlarının fermente edilmesiyle özellikle yulaf unu ve pirinç unlarının PSO'nda istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($p<0.05$) meydana geldiği tespit edilmiştir. Literatürde fermentasyonla birlikte laktik asit bakterilerinin (LAB) proteaz aktivitesine sahip oldukları ve önemli bir metabolit olan organik asitleri meydana getirerek tahılların yapısında doğal olarak bulunan enzimleri aktif hale getirdikleri belirtilmiştir. Buna bağlı olarak da hamurun yapısında hem direkt hem de dolaylı olarak oluşan proteaz aktivitesi sonucu proteinlerin parçalanarak suda çözünebilir azotlu maddelerin artışını sağladığı ve PSO'nı artırdığı bildirilmiştir (Bilgiçli ve Türker, 2004; Gobbetti vd., 2014). Fermantasyonda ortam pH'sının düşmesiyle tahıl proteazlarının aktivitelerinde artış meydana gelmekte ve bununla birlikte laktik asit bakterilerinin sahip oldukları enzim aktiviteleri ile birlikte proteinlerde parçalanma sonucu ortamda serbest aminoasit varlığında yükseliş meydana gelmektedir (Hansen ve Schieberle, 2005).

Literatürde Rizzello vd. (2012), tarafından yapılan bir çalışmada *in-vitro* ortamda mayalı ekmeğin PSO'nın buğday unu ekmeğine kıyasla daha yüksek bulunduğu ifade edilmiştir. Hendek Ertop (2014) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise, ekmeğin mayası ile elde edilmiş kontrol ekmeğinin % 58.70 PSO'na sahipken, ekşi hamur fermentasyonu ile elde edilmiş ekmeğin % 89.77 PSO'na sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu da ekşi hamur fermentasyonu ile elde edilen tahıl ürünlerinin PSO'nın önemli seviyede yüksek olduğu ve yüksek protein biyoyararlanımı sağladığını göstermektedir.

3.8. Uygulanan Proseslerin Etkinliklerinin Karşılaştırılması

Uygulanan proseslerin tanelerin fitik asit, KSO ve PSO özellikleri üzerindeki etkileri (%) değişim olarak özet tablolar halinde Tablo 3.9, Tablo 3.10. ve Tablo 3.11'de verilmiştir.

Tablo 3.9. Proseslerin tane fitik asit düzeyi üzerindeki değişim oranları (%)

Tahıl/Baklagil	Kabuk Soyma	Islatma	Kaynatma	Otoklavlama	Çimlendirme	Fermantasyon
Buğday	-23.12	-39.8	-51.5	-37.2	-74.8**	
Arpa	-16.64	-41.7	-47.1	-35.8	-76.4	
Çavdar	-0.36	-18.9	-39.0	-13.1	-71.5	
Yulaf	-11.28	-36.0	-45.9	-35.5	-71.9	
Çeltik	-40.88	-8.4	-27.1	-3.0	-55.2	
Fasulye		-20.8	-37.7	-27.8	-74.7	
Nohut		-18.2	-32.5	-27.2	-65.9	
Yeşil mercimek		-23.6	-38.6	-31.8	-75.4	
Buğday unu						-65.1
Arpa unu						-67.1
Çavdar unu						-60.3
Yulaf unu						-60.7
Pirinç unu						-22.0

* (-) değerler azalışı göstermektedir.

** En etkili yöntem koyu renkle işaretlenmiştir.

Tablo 3.9'da görüleceği üzere fitik asit degradasyonu üzerinde en etki yöntem çimlendirme olarak tespit edilmiştir. Tahıl ve baklagillerin özellikle evsel olarak tüketime hazırlanmasında ıslatmanın faydalı bir yöntem olduğu görülmektedir. Gerek günlük hayatta gerekse endüstriyel olarak gıda hazırlamada kullanılan atmosfer basıncında

kaynatma ve otoklavlama işlemleri karşılaştırıldığında fitik asit degradasyonu üzerinde kaynatma prosesi daha etkin bulunmuştur. Bunun nedeni enzimlerin protein yapılarından dolayı yüksek sıcaklıkta aktivasyonlarının azalması olduğu söylenebilir. Literatürde fitaz enziminin geniş bir substrat spesifiklikleri olup optimum sıcaklığı 45-60 °C olduğu belirtilmiştir (Pandey vd., 2001). Yapılan bir çalışmada ise fitazın 50-55°C’de optimum sıcaklığı sahip olmakla beraber 60°C’de aktivitenin düştüğü tespit edilmiştir (Yanke vd., 1999). Buna bağlı olarak da otoklavlama sıcaklığında fitaz enziminin daha fazla kayba uğrayarak tahıl ve baklagillerin fitik asit seviyesinde daha düşük bir azalış meydana getirdiğini söylenebilir.

Alajaji ve El-Adawy (2006), yaptığı bir çalışmada, nohutun 100 °C 90 dakika kaynatılmasıyla fitik asitte % 28.93’lük bir azalış meydana geldiğini, Singh vd. (2015) ise, 40 dakika kaynatma işleminin fitik asitin azaltılmasında daha etkili olduğunu bildirmişlerdir. Bu da tanelere uygulanan ısı işlem sıcaklığı ve süresinin arttıkça fitazın aktivitesinin azalmasına bağlı olarak fitik asitin degradasyonunun azaldığını göstermektedir.

Dikkat edilmesi gereken önemli bir husus ısı işlem proseslerinin fitik asit üzerine etkisinin incelendiği önceki çalışmalarda genellikle proses sonrası suyun uzaklaştırılmasıdır. Buna bağlı olarak da otoklavlama işlemiyle yüksek basınçla kaynama noktasının yükselmesine bağlı olarak yüksek seviyede fitik asitin suya geçtiğini buna bağlı olarak da fitik asit seviyesinde daha yüksek bir azalış meydana getirdiği söylenebilir. Fakat bu tekniğin ısı işlemle birlikte proteinlerde, vitaminlerde ve diğer bazı çözünebilir maddelerde önemli derecede kayıplar meydana gelebilmesi (Barampama ve Simard, 1995) gibi dezavantajları bulunduğundan tavsiye edilmediği söylenebilir. Elde edilen sonuçlara göre tahıl unlarında fitik asit düzeyinin azaltılmasında fermentasyon etkili bir yöntem olarak görülebilir. Bu etkinlik pirinç unun da daha az tespit edilmiştir. Çünkü pirincin başlangıç fitik asit düzeyi diğer tahıllara göre zaten daha düşüktür.

Tablo 3.10. Proseslerin tane KSO üzerindeki değişim oranları (%)

Tahıl/Baklagil	Kabuk Soyma	Islatma	Kaynatma	Otoklavlama	Çimlendirme	Fermentasyon
Buğday	+9.32	+58.46	+27.08	+17.30	+76.22	
Arpa	+9.55	+61.39	+57.47	+32.98	+88.51	
Çavdar	+27.57	+53.39	+25.73	+15.67	+83.09	
Yulaf	+28.14	+72.43	+89.71	+69.76	+120.28	
Çeltik	+93.46	+100.96	+101.89	+106.20	+103.22	
Fasulye		+47.15	+41.07	+40.72	+59.82	
Nohut		+61.25	+46.68	+60.95	+59.47	
Yeşil mercimek		+47.36	+44.83	+45.78	+40.27	
Buğday unu						+62.27
Arpa unu						+85.00
Çavdar unu						+44.72
Yulaf unu						+75.95
Pirinç unu						+43.92

*(+) değerler artışı göstermektedir.

** En etkili yöntem koyu renkle işaretlenmiştir.

Genel olarak tüm tahıllar üzerinde çimlendirme prosesisinin KSO'nı artırma yönünde önemli etki sağladığı söylenebilir. Çeltik üzerinde genel olarak tüm prosesler etkin sonuç sağlamışlardır. Baklagillerde ise, nohut ve mercimekte etkin sonuç alınırken fasulye üzerinde çimlendirme en etkin sonucu vermiştir. Ancak baklagillerin gıda olarak tüketime hazırlanma aşamaları göz önünde bulundurulursa evlerde de geleneksel olarak yapılan yaklaşık 12 saat önce ıslatma prosesinin KSO'nı ortalama % 50 oranında arttırdığı, aynı etkinliğin kaynatma ve basınç altında pişirmeyle de elde edildiği söylenebilir (Tablo 3.10).

Tahılların PSO'nın artırılmasında özellikle arpa, çavdar ve yulaf açısından çimlendirme prosesi, buğday açısından ise kabuk soyma prosesi en etkili yöntemler olarak belirlenmişlerdir. Baklagillerden kurufasulyenin çimlendirilmesi ile yaklaşık % 200'lük bir etkinlik sağlanmıştır. Baklagillerin tüketime hazırlanması açısından bakıldığında ise ıslatma ve pişirmede kullanılan kaynatma ve otoklavlama proseslerinin etkili olduğu söylenebilir (Tablo 3.11).

Tablo 3.11. Proseslerin tane PSO üzerindeki değişim oranları (%)

Tahıl/Baklagil	Kabuk Soyma	Islatma	Kaynatma	Otoklavlama	Çimlendirme	Fermentasyon
Buğday	+46.98	-7.09	+10.17	+31.01	+35.29	
Arpa	+78.65	-8.52	+17.07	+66.05	+103.01	
Çavdar	+23.60	-34.34	+9.05	+24.14	+59.49	
Yulaf	+61.89	+7.40	-37.05	+48.79	+95.91	
Çeltik	+35.82	-71.39	-30.52	+0.62	+31.77	
Fasulye		-3.50	+25.29	+131.99	+207.81	
Nohut		-21.08	-28.83	+1.90	+1.01	
Yeşil mercimek		-70.74	-49.96	+1.89	+3.58	
Buğday unu						+7.74
Arpa unu						+8.16
Çavdar unu						+11.46
Yulaf unu						+13.73
Pirinç unu						+17.03

*(+) değerler artışı, (-) değerler azalmayı göstermektedir.

** En etkili yöntem koyu renkle işaretlenmiştir.

Tahıllar açısından otoklavlama ve kaynatma prosesleri karşılaştırıldığında, 121 °C’de 15 dakika otoklavlama işleminin 100 °C’de 1 saat kaynatma prosesine kıyasla PSO’nın yükselmesinde daha etkili olduğu görülmektedir. Literatürde, ısı işlem prosesleriyle sıcaklık ve süresinin artışına bağlı olarak proteinlerin sindirebilirliklerinde azalış meydana geldiği ve bu azalışın elzem aminoasitlerin özellikle lisinin miktarında meydana gelen azalışla ilişkili olduğu bildirilmiştir (Wu vd., 1994). 121 °C’de (20,40,60,90 dakika) otoklavlama işlemlerinin ise baklagillerdeki protein sindirebilirliğini kaynatmaya kıyasla azalttığı belirtilmiştir (Rehman ve Salariya, 2005). Literatürde de anlaşıldığı üzere tahıl ve baklagillere uygulanan ısı işlemlerde en önemli parametreler sıcaklık ve süredir. Proteinler minerallerden farklı olarak yüksek sıcaklıklarda büyük oranda kayba uğrayabilmektedirler. Bu nedenle de tanelere 100 °C’de atmosfer basıncında uygulanan 1 saat kaynatma prosesinin bazı tahıl ve baklagillerdeki protein miktarında kayba neden olarak PSO’nın azalmasına neden olduğu söylenebilir.

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Tahıl ve baklagiller, yüksek kül ve protein içeriklerine sahip olmakla birlikte içerdikleri karbonhidrat oranına bağlı olarak günlük diyetteki kalorinin karşılanmasında önemli yere sahiptirler. Buna karşılık tahıl ve baklagiller ağırlıklı olmak üzere birçok bitkisel gıda antinutrientler (beslenme karşıtı bileşikler) olarak adlandırılan fitik asit, tanen, polifenoller, proteaz inhibitörleri gibi bileşikleri bünyelerinde ihtiva etmektedirler. Özellikle fitik asit tahıl ve baklagillerde yüksek seviyede bulunan ve onların besinsel kalitesini azaltan önemli bir antinutrienttir.

Çalışmada hammadde olarak kullanılan hem tahıl hem de baklagillerin herhangi bir proses uygulanmadan önceki fitik asit miktarları değerlendirildiğinde oldukça yüksek olduğu tespit edilmekle birlikte buğday, arpa ve yulafın içerdikleri yüksek kepek ve kavuz tabakalarına bağlı olarak baklagillerden daha yüksek fitik asit içerdiği belirlenmiştir. Çalışma kapsamında da tespit edildiği üzere tahıl ve baklagiller aynı zamanda değişen oranlarda kül ve protein içeriğine sahiptirler. Ancak fitik asitin şelatlama özelliğinden dolayı iki değerlikli iyonlarla çözünmez tuzlar oluşturarak vücutta düşük biyoyararlanıma neden olması, yüksek pH değerlerinde proteinlerle de kompleks oluşturarak tane proteinlerinin ve minerallerinin biyoyararlanımını ve sindirebilirliğini azaltabilmesi, tahıl ve baklagillerin besinsel kalitesini düşürmektedir. Buna göre, fitik asit içeren gıdalar muhakkak fitik asit miktarları azaltıldıktan sonra tüketilmeleri gerekmektedir.

Çalışma kapsamında tahıl ve baklagillere kabuk soyma, ıslatma, çimlendirme, termal işlemler ve fermentasyon prosesleri uygulanmıştır. Uygulanan bu proseslerin hepsi hem tahıl hem de baklagillerdeki fitik asit seviyesinin azaltılmasında çeşitli oranda etki sağlarken fitik asit seviyesindeki en etkin azalma sırasıyla çimlendirme ve fermentasyon proseslerinde tespit edilmiştir. Fitik asit seviyesindeki en düşük azalma ise tahıllara uygulanan kabuk ayırma/öğütme prosesi sonrası tespit edilmiştir. Kabuk ayırma/soyma prosesi, fitaz enziminin aktivite göstermesini sağlayan bir proses olmadığından fitik asit seviyesinde meydana gelen azalış kabul edilebilir düzeydedir. Tahıl ve baklagillere uygulanan kaynatma prosesinin ise fitik asitin azaltılmasında ıslatma ve otoklavlamadan daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Tahıl ve baklagiller birlikte değerlendirildiklerinde ıslatma, otoklavlama, kaynatma ve çimlendirme proseslerinin çavdar ve çeltik hariç olmak

üzere fitik asitin azaltılmasında baklagillere kıyasla daha yüksek etki gösterdiği tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında uygulanan prosesler fitik asitin azalmasına bağlı olarak tahıl ve baklagillerdeki kül sindirebilirlik oranının (KSO) yükselmesinde etki sağlamıştır. Tanelerdeki KSO'nun oranının yükselmesinde en etkili prosesler sırasıyla çimlendirme ve fermentasyon olarak tespit edilmiştir. Ham maddelerin protein sindirebilirlik oranının (PSO) artırılmasında en yüksek etkinin ise çimlendirme prosesinde meydana geldiği belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen literatür bilgileri ve çalışma sonuçlarından yola çıkılarak tahıl ve baklagillerin günlük hayatta tüketilmeden bir gün önce fitaz enziminin optimum aktivite sağladığı 45-60 °C sıcaklıkta ıslatılarak tanelerin suyun içerisine nüfuz etmesinin sağlanması suda çözünen mineral ve protein kaybı olmaması açısından önerilebilir. Yine elde edilen sonuçlara göre fitaz enziminin optimum aktivite gösterdiği pH 4-6 aralığında fitik asitin etkin degradasyonu nedeniyle, tahılların ve düşük fitaz aktivitesine sahip baklagillerin asidik ortamda ıslatılmaları veya unlarının fermente edilmesi de fitazın daha yüksek seviyede aktivasyonunu sağlayarak fitik asidin azaltılması ve biyoyararlanımın artırılması açısından tavsiye edilebilir. Özellikle ekşi hamur fermentasyonu ile elde edilmiş tam tahıl ürünlerinin tüketilmesi mineral ve protein biyoyararlanımının artırılması açısından tavsiye edilebilir.

Düşük gelirli ülkelerde, düşük biyoyararlanıma neden olan fitik asit gibi antinutrientleri içeren tahıl ve baklagillerin ağırlıklı olarak tüketilmesi ve hayvansal kaynaklı gıdalarla beslenme oranının düşük olması bu ülkelerdeki insanların özellikle çocukların risk grubu altında olduğu sonucunu vermektedir. Dolayısıyla da bunun üzerinde odaklanılması gereken önemli husus olduğu söylenebilir. Buna bağlı olarak, devlet kontrolünde, özellikle düşük gelirli ülkelerde ve kırsal kesimde yaşayan insanları bilgilendirmek için gerekli çalışmalar yapılması önerilebilir.

Fitik asit içeriği yüksek olan gıdalar, düşük glisemik indeks değerine sahiptir. Fitik asit, zararlı bir bileşik olmasına rağmen glisemik indeks değerini düşürdüğünden dolayı glisemik indekse bağlı hastalıkların tedavisindeki yerinin yeni bir araştırma konusu olabileceği düşünülmektedir. Yine, fitik asitin zararlı kolesterol seviyesini düşürücü özelliğinin bulunması, sağlık alanında konu ile alakalı çalışmalar yapılabileceğini göstermektedir.

Tahıl ve baklagillere tez çalışması kapsamında uygulanan kabuk soyma, ıslatma, çimlendirme, termal işlemler ve fermentasyon prosesleri günlük hayatta da kolaylıkla uygulanabilen proseslerdir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak fitik asit içeriği yüksek olan bu tahıl ve baklagillerin ön işlem ve proses şartları uygulandıktan sonra hem günlük hayatta hem de endüstride tüketime sunulmaları gerektiği hatta kombine işlemlerle daha etkin sonuçlar alınabileceği söylenebilir.

Araştırmalar, biyogenetik mühendisleri tarafından tahıllardaki yalnızca çinko oranının fortifikasyonu için çalışmalar yapıldığını göstermektedir. Buna bağlı olarak çimlenmiş tanelerin, çim suyunun sahip olduğu yüksek mineral, protein ve vitamin miktarları göz önünde bulundurularak özellikle yulaf ve çeltik olmak üzere tahıl çimlerinin, çim suyunun muhakkak endüstriyel olarak ve günlük hayatta da kullanılması gerektiği düşünülmektedir. Aynı zamanda çimlendirme ve fermentasyonun sağladığı yüksek mineral ve protein biyoyararlanıma bağlı olarak da bu konu üzerine çalışmaların yoğunlaşması gerektiği söylenebilir.

Bitkisel kaynaklı enzimlerin üretimi hem çok maliyetli hem de kolay olmadığı için endüstride mikrobiyal kaynaklı enzimlerin üretimi daha çok ilgi görmektedir. Tahıllara çimlendirme ve fermentasyon prosesinin beraber uygulanmasıyla elde edilebilecek malt unu tipinde yeni ürünlerin yüksek fitaz aktivitesi göstermesine bağlı olarak hayvan yemlerine veya fitaz aktivitesi düşük tahıl ve baklagil unlarına doğal bir katkı maddesi olarak kullanılabileceği söylenebilir. Özellikle tahıllardan çeltik ve yulaf tanelerinin çimlendirme ile yüksek seviyede kül ve protein sindirebilirlik oranına sahip olduğu dikkat çekmektedir. Buna bağlı olarak da yulaf ve çeltik taneleri endüstriyel olarak çimlendirme ve fermentasyon proseslerinin konbine uygulanarak yani hem bitkisel hem de mikrobiyal açıdan fitaz aktivitesinin artması sağlanarak endüstride fitaz enzim kaynağı olarak kullanılabilir.

Çalışmada elde edilen sonuçlardan minerallerinin tanedeki protein miktarıyla orantılı olduğu görülmektedir. Burdan yola çıkarak tanedeki vitamin düzeylerinde proteinlerin rolü olup olmadığı düşüncesi araştırılabilir bir konu olarak düşünülmektedir. Özellikle B grubu vitaminleri protein, nükleik asit ve aminoasit metabolizmasında aktif rol almakta ve B2, B6, pantotamik asit, kolin, folik asiti, protein içeren gıdalarda yüksek miktarda bulunabilmektedir. Yani B vitaminlerinin tanede proteinlerle birlikte mevcut olduğu söylenebilir. Fitik asit, B12 gibi vitaminlerle de kompleks oluşturmaktadır. Bu veriler doğrultusunda, toprağa N uygulaması, tane ve fraksiyonlarındaki vitamin, protein, fitik asit

gibi antinutrientler ve mineraller arasındaki ilişki araştırılması gereken bir konu olarak düşünölmektedir.

Çalışma kapsamında, tahıl ve baklagillerdeki fitik asitin azaltılması için uygulanan proseslerin hem mineral hem de protein biyoyararlanımı üzerindeki olumlu etkileri karşılaştırmalı ve detaylı olarak ortaya konulmuştur. Bu anlamda tez çalışmasının, gelecekte konuyla ilgili yapılacak diğer çalışmalara da ışık tutacağı söylenebilir.

5. KAYNAKLAR

- AACC., 1990. American Association of Cereal Chemists International, Approved Methods of the AACC, Method: 08-01, Method: 10-11, Method: 10-54, Method: 10-90, Method: 38-11, Method: 44-01, Method: 46-12, Method: 55-10, Method: 54-21, Method: 56-60, Method: 56-81B, The Association: St. Paul, MN, USA.
- Abdelrahaman, S. M., El Maki, H. B., Babiker, E. E. and El Tinay, A.H., 2005. Effect of Malt Pretreatment Followed by Fermentation on Antinutritional Factors and HCl Extractability of Minerals of Pearl Millet Cultivars, Journal of Food Technology, 3, 529-534.
- Adil Shah, S., Zeb, A., Masood, T., Noreen, N., Abbas, S. J., Samiullah, M., Abdul Alim, M. D. And Muhammad, A., 2011. Effects of Sprouting Time on Biochemical and Nutritional Qualities of Mung Bean Varieties, African Journal of Agricultural Research, 6,22, 5091-5098.
- Agte, V. V., Gokhale, M. K. and Chiplonkar, S. A., 1997. Effect of Natural Fermentation on in Vitro Zinc Bioavailability in Cereal-Legume Mixture, International Journal of Food Science & Technology, 31, 29-32.
- Ahmad, I., Mohammad, F., Zeb, A., Rasool Noorka, I. and Akber Jadoon, S., 2013. Determination and Inheritance of Phytic Acid as Marker in Diverse Genetic Group of Bread Wheat, American Journal of Molecular Biology, 3, 158-164, doi: 10.4236/ajmb.2013.33021.
- Ahmed, F. A. R., Abdel-Rahim, E. A. M., Abdel-Fatah, O. M., Erdmann, V. A. and Lippmann, C., 1995. The Changes of Protein Patterns During One Week of Germination of Some Legume Seeds and Roots, Food Chemistry, 52, 433-7.
- Ajjarapu, R., 2000. Phytate/Minerals in Indian Vegetarian Dishes. San Jose State University, a Thesis, California, USA, 132p.
- Al Khalifa, A. S. and Ahmad, D., 2010. Determination of Key Elements by ICP-OES in Commercially Available Infant Formulae and Baby Foods in Saudi Arabia, African Journal of Food Science, 4,7, 464-468.
- Alajaji, S. A. and El-Adawy, T. A., 2006. Nutritional Composition of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) as Affected by Microwave Cooking and Other Traditional Cooking Methods, Journal of Food Composition and Analysis, 19,8, 806-812.
- Anonim, 2011. T.C. Mili Eğitim Bakanlığı Kuru Bakliyatlar ve Tahıl Tanelerinde Kalibrasyon, Ankara.
- AOAC, 1990. Method 960.52. Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists, 15th Edn., Arlington, VA.
- Arif, S., Ahmad, A., Masud, T., Khalid, N., Hayat, I., Siddique, F. and Ali, M., 2012. Effect of Flour Processing on the Quality Characteristics of a Soy Based Beverage, International Journal of Food Science and Nutrition, 63,8, 940-946.
- Asada, K., Tanaka, K. and Kasai, Z., 1969. Formation of Phytic Acid in Cereal Grains, Annals of the New York Academy of Sciences, 165, 801-814.

- Ashish, S., Shilpa, K., Singh, R. R., Sanjav, K. and Rajendran, N., 2012. Wheatgrass: An Alternative Household Nutritional Food Security. International Research Journal of Pharmacy, 3,7, 246-250.
- Ashton, W. M. and Williams, P. C., 1958. The phosphorus compounds of oats. I. - The Content of Phytate Phosphorus, Journal of Food Science Agriculture, 9, 505-511.
- Badau, M. H., Nkama, I. and Jideani, A. I., 2005. Phytic Acid Content and Hydrochloric Acid Extractability of Minerals in Pearl Millet as Affected by Germination Time and Cultivar, Journal of Food Chemistry, 92, 425-435.
- Bailey J. E. and Ollis D. F., 1977. Biochemical Engineering Fundamentals, Edited by Mc GrawHill, USA.
- Barampama, Z. and Simard, R. E., 1995. Effects of Soaking, Cooking and Fermentation on Composition, in-vitro Starch Digestibility and Nutritive Value of Common Beans, Plant Foods for Human Nutrition, 48, 349-65.
- Baruah, K., Sahu, N. P., Pal, A. K., Jain, K. K., Debnath, D., Yengkokpam, S. and Mukherjee, S. C., 2007. Interactions of Dietary Microbial Phytase, Citric Acid and Crude Protein Level on Mineral Utilization by Rohu, *Labeo rohita* (Hamilton), Juveniles, Journal of World Agriculture Society, 38,2, 238-249.
- Baysal, A., 1993. Genel Beslenme, Hatipoğlu Yayınları, Ankara, 214 s.
- Baysal, A., 2012. Beslenme (14. Baskı), Hatipoğlu Yayınevi, Ankara.
- Bilgiçli, N. ve Türker, S., 2004. Tarhanada Sindirilebilir Protein ve Kül Miktarı Üzerine Maya, Malt Unu ve Fitaz Katkılarının Etkileri, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18,33, 90-97.
- Bilgiçli, N., Elgün, A. and Türker, S., 2006, Effects of Various Phytase Sources on Phytic Acid Content, Mineral Extractability and Protein Digestibility of Tarhana, Food Chemistry, 98, 329-337.
- Bishnoi, S. and Khetarpaul, N., 1993. Effect of Domestic Processing and Cooking Methods on in-vitro Starch Digestibility of Different Pea Cultivars (*Pisum sativum*), Food Chemistry, 47, 177-182.
- Boesch, D. F., Brinsfield, R. B. and Magnien, R. E., 2001. Chesapeake Bay Eutrophication: Scientific Understanding, Ecosystem Restoration and Challenges for Agriculture, Journal Environmental Quality, 30, 303-320.
- Bohn, L., Meyer A. S. and Rasmussen S. K., 2008. Phytate: Impact on Environment and Human Nutrition, a Challenge for Molecular Breeding, Journal of Zhejiang University-SCIENCE B, 9, 165-191.
- Brier, N., Gomand, S. V., Donner, E., Paterson, D., Delcour, J. A., Lombi, E. and Smolders, E., 2015. Distribution of Minerals in Wheat Grains (*Triticum aestivum* L.) and in Roller Milling Fractions Affected by Pearling, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 63,4, 1276-1285.
- Camacho, L., Sierra, C., Campos, R., Guzman, E. and Marcus, D., 1992. Nutritional Changes Caused by Germination of Legumes Commonly Eaten in Chile, Archivos Latinoamericanos de Nutricion, 42, 283-90.
- Camire, A. L. and Clydesdale, F. M. 1982. Analysis of Phytic Acid in Foods by HPLC, Journal of Food Science, 47, 575-578.

- Carnovale, E., Lugaro, E. and Lombardi Boccia, G., 1988. Phytic Acid in Faba Bean and Pea: Effect on Protein Availability, Cereal Chemistry, 65, 114-117.
- Chang, C. W., 1967. Study of Phytase and Fluoride Effects in Germinating Corn Seeds, Cereal Chemistry, 44, 129-142.
- Chavan, C. K. and Kadam, S. S., 1989. Nutritional improvement of cereals by sprouting, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 28,5, 401-437.
- Chavan, R. S. and Chavan, S. R., 2011. Sourdough Technology a Traditional Way for Wholesome Foods: A Review, Food Science Food Safety, 10, 170-183.
- Chen, Q. C., 2004. Determination of Phytic Acid and Inositol Pentakis Phosphate in Foods by HPLC, Agricultural and Food Chemistry, 52, 4604-4613.
- Choi, Y. M., Suh, H. J. and Kim, J. M., 2001. Purification and Properties of Extracellular Phytase from *Bacillus* sp. KHU-10, Journal of protein chemistry, 20, 287-292.
- Cordain, L., Eaton, S. B., Sebastian, A., Mann, N., Lindeberg, S. and Watkins, B. A. et al., (2005). Origins and Evolution of the Western Diet: Health Implications for the 21st Century, American Journal of Clinical Nutrition, 81, 341–354.
- Coulibaly, A., Kouakou, B. and Chen, J., 2011. Phytic Acid in Cereal Grains: Healthy or Harmful Ways to Reduce Phytic Acid in Cereal Grains and Their Effects on Nutritional Quality, American Journal of Plant Nutrition and Fertilization Technology, 1, 1–22.
- D'Silva, C. G., Bae, H. D., Yanke, L. J., Cheng, K. J. and Selinger, L. B., 2000. Localization of Phytase in *Selenomonas ruminantium* and *Mitsuokella multiacidus* by Transmission Electron Microscopy, Canadian Journal of Microbiology, 46, 391-395.
- Dalié, D. K. D., Deschamps, A. M. and Richard-Forget, F., 2010. Lactic Acid Bacteria-Potential for Control of Mould Growth and Mycotoxins: A Review, Food Control, 21, 370-380.
- Das, A., Raychaudhuri, U. and Chakraborty, R., 2011. Cereal Based Functional Food of Indian Subcontinent: a Review, Journal of Food Science and Technology, doi: 10.1007/s13197-011-0474-1.
- Dave Oomah, B., Francois, C., Linda, J. M. and Anne-Sophie, B., 2011. Phenolics and Antioxidant Activity of Lentil and Pea Hulls, Food Research International, 44, 436–441.
- De Bolond, A., Garner, G. B. and O'Dell, B. L., 1975. Identification and Properties of Phytate in Cereal Grains and Oilseed Products, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 23, 1186-1189.
- Duhan, A., Khetarpaul, N. and Bishnoi, S., 2002. Content of Phytic Acid and HCL-Extractability of Calcium, Phosphorus and Iron as Affected by Various Domestic Processing and Cooking Methods, Food Chemistry, 78, 9-14.
- Dvorakova, J., 1998. Phytase, Sources, Preparation and Exploitation, Folia Microbiologica, 43, 323-338.
- Dziki, D., Gawlik Dziki, U., Kordowska Wiater, M. and Doman Pytko, M., 2015. Influence of Elicitation and Germination Conditions on Biological Activity of Wheat Sprouts, Hindawi Publishing Corporation Journal of Chemistry, doi: 10.1155/2015/649709.

- Ebune, A., Al-Asheh, S. and Duvnjak, Z., 1995. Production of Phytase During Solid-State Fermentation Using *Aspergillus Ficum* NRRL 3135 in Canola Meal, Bioresource Technology, 53, 7-12.
- Egli I., Davidsson L., Juillerat, M. A., Barclay, D. and Hurrell, R. F., 2003. Phytic Acid Degradation in Complementary Foods Using Phytases Naturally Occurring in Whole Grain Cereals, Journal of Food Science, 68,5, 1855-1859.
- Egounlety, M. and Aworh, O., 2003. Effect of Soaking, Dehulling, Cooking and Fermentation With *Rhizopus Oligosporus* on the Oligosaccharides, Trypsin Inhibitor, Phytic Acid and Tannins of Soybean (*Glycine Max* Merr.), Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and Groundbean (*Macrotyloma Geocarpa* Harms), Journal of Food Engineering, 56,2,3, 249-254.
- Ekinci, R. ve Ünal, S., 2002. Türkiye'nin Farklı Bölgelerinde Üretilen Değişik Tipte Unların Mineral Madde Miktarları, Journal of Engineering Sciences, 8, 91-96.
- El Hag, M. E., El Tinay A. H. and Yousif, N. E., 2002. Effect of Fermentation and Dehulling on Starch, Total Polyphenols, Phytic Acid Content and in Vitro Protein Digestibility of Pearl Millet, Food Chemistry, 77, 193-196.
- El-Adawy, T. A., Rahma, E. H., El-Bedawey, A. A. and El-Beltagy, A. E., 2003. Nutritional Potential and Functional Properties of Germinated Mung Bean, Pea and Lentil Seeds, Plant Foods for Human Nutrition, 58, 1-13.
- Elgün, A. ve Ertugay, Z., 1995. Tahıl İşleme Teknolojisi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 297, Erzurum.
- Elgün, A., Türker, S. ve Bilgiçli, N., 2001. Tahıl ve Ürünlerinde Analitik Kalite Kontrolü, Konya Ticaret Borsası Yayınları, No: 2, Konya.
- El-Hady E. A. and Habiba, R., 2003. Effect of Soaking and Extrusion Conditions on Antinutrients and Protein Digestibility of Legume Seeds, LWT-Food Science and Technology, 36, 285-93.
- Eltayeb, M. M., Hassn, A. B., Sulieman, M. A. and Babiker, E. E., 2007. Effect of Processing Followed by Fermentation on Antinutritional Factors Content of Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* L.) Cultivars, Pakistan Journal of Nutrition, 6,5, 463-467.
- Erdal, I., Yılmaz, A., Kalaycı, M., Çakmak, I. and Hatipoğlu, F., 1998a. Effect of Zinc Fertilization on Phytic Acid-zinc Molar Ratios in Different Wheat Cultivars Grown in Central Anatolia GAP Regions, The First National Zinc Congress, Ankara, Turkey.
- Erdman J. W., Jr. 1979. Oilseeds phytate: Nutritional Implications, The Journal of the American Oil Chemists' Society, 56, 736-741.
- Erdman, J. W. and Forbes, R. M., 1977. Mineral Bioavailability from Phytate Containing Foods, Food Product Development, 11,10, 46.
- Ergün, A., Tuncer, Ş. D., Çolpan, İ., Yalçın, S., Yıldız, G., Küçükersan, M. K., Küçükersan, S., Önel, A. G., Muğlalı, Ö. H. ve Şehu, A., 2002. Yemler, Yem Hijyeni ve Teknolojisi. A. Ü. Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları Anabilim Dalı, Ankara, 465s.

- Ertas, N. and Türker, S., 2012. Bulgur Processes Increase Nutrition Value: Possible Role in in-vitro Protein Digestibility, Phytic Acid, Trypsin Inhibitor Activity and Mineral Bioavailability, Journal of Food Science and Technology, doi:10.1007/s13197-012-0638-7.
- Evers, A. D., Kelkens, M. and McMaster, G., 2002. Image Analysis of Flour for QC and Premium Product Development, in: Proceedings of the International Bread Baking Conference, September, Valencia, Spain.
- Fayyaz, N., Mohebbi, M. and Milani, E., 2018. Effect of Germination on Nutrients, Mineral, Phytic Acid and Enzyme Activity of Mung Bean, Acta Medica Mediterranea, 34,597.
- Febles, C. I., Arias, A., Hardisson, A., Rodrigues-Alvarez, C. and Sierra, A., 2002. Phytic Acid Level in Wheat Flours, Journal of Cereal Science, 36, 19-23.
- Feil, B., 2001. Phytic acid, Journal of New Seeds, 3, 1-35.
- Flanagan, P. R. 1984. A Model to Produce Pure Zinc Deficiency in Rats and Its Use to Demonstrate that Dietary Phytate increases the Excretion of Endogenous Zinc, Journal of Nutrition, 114, 493-502.
- Fulcher, R. G. and Duke. T. K. R., 2002. Whole-Grain Structure and Organization, Implications for Nutritionists and Processors, Page 9 in Whole-Grain Foods in Health and Disease, I. Marquart, J. Slavin, and R. G. Fulcher, eds. AACC Intl., St. Paul, MN, U.S.A.
- Ganzle, M.G., 2014. Enzymatic and Bacterial Conversions During Sourdough Fermentation, Food Microbiology, 37, 2-10.
- Ghavidel, R. A. and Prakash, J., 2007. The Impact of Germination and Dehulling on Nutrients, Antinutrients, in Vitro Iron and Calcium Bioavailability and in Vitro Starch and Protein Digestibility of Some Legume Seeds, LWT, 40, 1292–1299.
- Gibson, R S., Perlas, L. A. and Hotz, C., 2006. Improving the Bioavailability of Nutrients in Plant Foods at the Household Level, Proceedings of the Nutrition Society, 65,2, 160–8.
- Gibson, R. S., Yeudall, F., Drost, N., Mitimuni, B. and Cullinan, T., 1998. Dietary Interventions to Prevent Zinc Deficiency, American Journal of Clinical Nutrition, 68, 484-487.
- Gilani, G. S., Cockell, K. A. and Sepehr, E., 2005. Effects of Antinutritional Factors on Protein Digestibility and Amino Acid Availability in Foods, Journal of AOAC International, 88, 967-987.
- Gobbetti, M., Rizzello, C. G., Cagno, R. D. and Angelis, M. D., 2014. How the Sourdough may Affect the Functional Features of Leavened Baked Goods, Food Microbiology, 37, 30-40.
- Greiner, R. and Carlsson, N. G., 2006. Myo-Inositol Phosphate Isomers Generated by the Action of a Phytate-Degrading Enzyme from *Klebsiella terrigena* on Phytate, Canadian Journal of Microbiology, 52, 759-768.
- Greiner, R. and Konietzny, U., 2006. Phytase for Food Application, Food Technology and Biotechnology, 44, 125–140.

- Gupta, R. K., Gangoliya, S. S. and Singh, N. K., 2015. Reduction of Phytic Acid and Enhancement of Bioavailable Micronutrients in Food Grains, Journal of Food Science and Technology, 52,2, 676-684.
- Gys, W., Gebruers, K., Sorensen, J. F., Courtin, C. M. and Delcour, J. A., 2004. Debranning of Wheat Prior to Milling Reduces Xylanase But Not Xylanase Inhibitor Activities in Wholemeal and Flour, Journal of Cereal Science, 39, 363-369.
- Haard, N., Odunfa, S. A., Lee, C. H., Quintero-Ramirez, A., Lorence Quinones, A. and Wachter-Radarte, C., 1989. Fermented Cereals: A Global Perspective, FAO, Agricultural Service Bulletin 138.
- Han, Y. M. and Lei, X. G., 1999. Role of Glycosylation in the Functional Expression of an *Aspergillus niger* Phytase (PhyA) in *Pichia pastoris*, Archives Biochemistry Biophysics, 364, 83-90.
- Hansen, A. and Schieberle, P., 2005. Generation of Aroma Compounds During Sourdough Fermentation: Applied and Fundamental Aspects, Trends in Food Science and Technology, 16, 85-94.
- Harland, B. F. and Harland, D. J., 1980. Fermentative Reduction of Phytate in Rye, White and Whole Wheat Breads, Cereal Chemistry, 57,3, 226-229.
- Harland, B. F. and Oberleas, D., 1986. Anion-Exchange Method for Determination of Phytate on Foods: Collaborative Study, Journal Association of Official Analytical Chemists, 69, 667-670.
- Harland, B. F. and Prosky, L. D., 1979. Development of Dietary Fibre Values for Foods, Cereal Foods World, 24, 387-394.
- Haros, M., Rosell, C. M. and Benedito, C., 2001. Use of Fungal Phytase to Improve Bread Making Performance of Whole Wheat Bread, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49,11, 5450-4.
- Haug, W. and Lantzsch, H. J., 1983. Sensitive Method for the Rapid Determination of Phytic Acid in Cereals and Cereal Products, Journal of the Science of Food and Agriculture, 34, 1423-1426, doi:10.1002/jsfa.2740341217.
- Hawson, S. J. And Davis, R. P., 1983. Production of Phytate Hydrolyzing Enzyme by Some Fungi, Enzyme and Microbial Technology, 5, 377-382.
- Hayakawa, T., Toma, Y. and Igaue, I., 1989. Purification and Characterisation of Acid Phosphatases With or Without Phytase Activity from Rice Bran, Agricultural and Biological Chemistry, 53, 1475-1483.
- Hefnawy, T. H., 2011. Effect of processing Methods on Nutritional Composition and Anti-Nutritional Factors in Lentils (*Lens culinaris*), Annals of Agricultural Science, 56,2, 57-61.
- Hendek Ertop, M., 2014. Ekşi Hamur Formül Optimizasyonunun Ekmeğin Aromatik Profili, Biyoaktif Nitelikleri ve Raf Ömrü Üzerine Etkileri, Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Hornsey, I. S., 1999. Brewing, The Royal Society of Chemistry Cambridge, 246 s.
- Houde, R. L., Allı, I. and Kermasha, S., 1990. Purification and Characterisation of Canola Seed (*Brassica* sp.) Phytase, Journal of Food Biochemistry, 114, 331-351.

- Hunt, A. Ö., Özkan, F. A. ve Altun, T., 2007. Balık Yemlerinde Beslenmeyi Sınırlandırıcı Maddeler ve Etkileri, *Türk Sucul Yaşam Dergisi Ulusal Su Günleri, Özel Sayı*, 5,8, 634-642.
- Hurrel, R. F., 2001. Influence of Vegetable Protein Sources on Trace Element and Mineral Bioavailability, Presented at the PAHO Technical Consultation on Recommended Nutrient Composition of Fortified Complimentary Foods, Washington, DC.
- Hurrel, R. F., Reddy, M. B., Burri, J. and Cook, J. D., 2000. An Evaluation of EDTA Compounds for Iron Fortification of Cereal Based Foods, *British Journal of Nutrition*, 84, 903-910.
- Hübner, F., O'Neil, T., Cashman, K. D. and Arendt, E. K., 2010. The Influence of Germination Conditions on Beta-Glucan, Dietary Fibre and Phytate During the Germination of Oats and Barley, *European Food Research and Technology*, 231, 27-35.
- Idriss, E., Makarewicz, O., Farouk, A., Rosner, K., Greiner, R., Bochow, H. T., Richter, T. and Borriss, R., 2002. Extracellular Phytase Activity of *Bacillus amyloliquefaciens* FZB45 Contributes to Its Plantgrowth-Promoting Effect, *Microbiology*, 148, 2097-2109.
- Janeb, M. and Thompson, L. U., 2002. Role of Phytic Acid in Cancer and Other Diseases, in: "Food Phytates", (Eds.): Reddy, N. R. and Sathe, S. K., CRC Press, Boca Raton, F.L, P.P. 225-248.
- Joanna, S. and Zbigniew, K., 2011. Evaluation of the Content and Bioaccessibility of Iron, Zinc, Calcium and Magnesium from Groats, Rice, Leguminous Grains and Nuts. *Journal of Food Science and Technology*, doi:10.1007/s13197-011-0535-5.
- Jongbloed, A. W., Kemme, P. A. and Mroz, Z., 1993. The Role of Microbial Phytases in Pig Production. *Enzymes in Animal Nutrition, Proceeding of the 1 st Symposium*: 173-180
- Jorge, E. M., Wolfgang, H. P. and Peter, B., 2008. Biofortified Crops to Alleviate Micronutrient Malnutrition, *Current Opinion in Plant Biology*, 11, 166-170.
- Kasim, A. B. and Edwards, H. M. J., 1998. The Analysis of Inositol Phosphate Forms in Feed Ingredients, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 1-9.
- Kataria, A., Chauhan, B. M. and Punia, D., 1989. Antinutrient and Protein Digestibility (in Vitro) of Mung Bean as Affected by Domestic Processing and Cooking, *Journal Food Chemistry*, 32, 9-17.
- Kaur, K. D., Jha, A., Sabikhi, L. and Singh, A. K., 2011. Significance of Coarse Cereals in Health and Nutrition: A Review, *Journal of Food Science and Technology*, doi: 10.1007/s13197-011-0612-9.
- Kerovuo, J., 2000. A Novel Phytase from Bacillus. Characterization and Production of the Enzyme, Academic Dissertation, 68 p., Helsinki.
- Khalil, A. H. and Mansour, E. H., 1995. The Effect of Cooking, Autoclaving and Germination on the Nutritional Quality of Faba Beans, *Food Chemistry*, 54, 177-182.
- Khatoun, N. and Prakash, J., 2004. Nutritional Quality of Microwavecooked and Pressure-Cooked Legumes, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 55, 441-448.

- Kholdebarin, B. and Esslamzadeh, T., (Translators) 2001. Mineral Nutrition of Higher Plants, Vol I. First Edition, Shiraz University.
- Kim, Y., Kim, H. K., Bae, K. S., Yu, J. H. and Oh, T. K., 1998. Purification and Properties of a Thermostable Phytase from *Bacillus* sp. DS11. Enzyme Microbial Technology, 22, 2-7.
- Klose, C., Schehl, B. D. and Arendt, E. K., 2009. Fundamental Study on Protein Changes Taking Place During Malting of Oats, Journal of Cereal Science , 49, 83–91.
- Konietzny, U. and Greiner, R., 2002. Molecular and Catalytic Properties of Phytate-Degrading Enzymes (Phytases), International Journal of Food Science & Technology, 37, 791–812.
- Kornegay, E. T., 2001. Digestion of Phosphorus and Other Nutrients: The Role of Phytases and Factors Influencing Their Activity, *Enzymes in Farm Animal Nutrition*, Eds., Bedford, M. R., Partridge, G. G., CAB International Publishing, UK. pp: 237-272.
- Köksal, H., Edney, M. J. and Özkaya, B., 1999. Barley Bulgur : Effect of Processing and Cooking on Chemical Composition, Journal of Cereal Science, 29, 185-190.
- Kumar, V., Sinha, A. K., Makkar, H. P. S. and Becker, K., 2010. Dietary Roles of Phytate and Phytase in Human Nutrition, Food Chemistry, 120, 945-959.
- Kutman, U. B., Yıldız, B. and Çakmak, İ., 2011. Improved Nitrogen Status Enhances Zinc and Iron Concentrations Both in the Whole Grain and the Endosperm Fraction of Wheat, Journal of Cereal Science, 53,1, 118-125.
- Leenhardt, F., Levrat-Verny, M. A., Chanliaud, E., Remesy, C., 2005. Moderate Decrease of pH by Sourdough Fermentation is Sufficient to Reduce Phytate Content of Whole Wheat Flour Through Endogenous Phytase Activity, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, 98-102.
- Lehrfeld, J., 1994. HPLC Separation and Quantitation of Phytic Acid and Some Inositol Phosphates in Foods: Problems and Solutions, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 42, 2726–2731.
- Lei X. G., Porres J. M., Mullaney E. J. and Brinch-Pedersen H., 2007. Phytase: Source, Structure and Application. In: MacCabe A. P., Polaina J., editors. *Industrial Enzymes Structure, Function and Applications*. Springer; Dordrecht, pp. 505–529. The Netherlands.
- Lei, X. G. and J. M. Porres. 2003. Phytase Enzymology, Applications and Biotechnology, *Biotechnology Letters*, 25, 1787-1794.
- Lei, X. G. and Stahl, C. H., 2001. Biotechnological Development of Effective Phytases for Mineral Nutrition and Environmental Protection, Applied Microbiology and Biotechnology, 57, 474-481.
- Lei, X., Blake, J. P., Forsberg, C. W., Fox, D. G., Grabau, E., Mroz, Z., Sutton, A. L., Walker, W. R., Webb, K., Matthews, J. C., Shears, S. B., Veum, T. and Bell, A. W., 2006. Animal Agriculture's Future Through Biotechnology. Part 4, CAST Council for Agricultural Science and Technology, Issue paper no: 33.
- Lestienne, I., Caporiccio, B., Besancon, P., Rochette, I. and Treche, S., 2005. Relative Contribution of Phytates, Fibers and Tannins to Low Iron and Zinc in Vitro Solubility in Pearl Millet (*Pennisetum Glaucum*) Flour and Grain Fractions, journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, 8342-8348.

- Liener, I. E., 1994. Implications of Antinutritional Components in Soybean Foods, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 34, 31–67.
- Lolas, G. M., Palamididis, N. and Markakis, P., 1976. The Phytic Acid-Total Phosphorus Relationship in Barley, Oats, Soybeans and Wheat, Cereal Chemistry, 53, 867-871.
- Lopez, H., Krspine, V., Guy, C., Messenger, A., Demigne, C. and Remesy, C., 2001. Prolonged Fermentation of Whole Wheat Sourdough Reduces Phytates Level and Increases Soluble Magnesium, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49, 2657-2662.
- Lopez, H. W., Leenhardt, F., Coudray, C. and Remesy, C., 2002. Minerals and Phytic Acid Interactions: It is a Real Problem For Human Nutrition? International Journal of Food Science & Technology, 37, 727-739.
- Lorenz, K., Loewe, R., Weadon, D. and Wolf, W. 1980. Natural Levels on Nutrients in Commercially Milled Flours, II. Mineral Analyses, Cereal Chemistry, 57, 65-69.
- Madaiah, V. T., Kurink, A. and Reid, B. L. 1964. Phytic Acid Studies. Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine, 103, 304.
- Maga, J. A., 1982. Phytate: Its Chemistry, Occurrence Food Interactions, Nutritional Significance and Method of Analysis, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 30, 1-9.
- Mahgoub, S. E. O. and Elhag, S. A., 1998. Effect of Milling, Soaking, Malting, Heat-Treatment and Fermentation on Phytate Level of Four Sudanese Sorghum Cultivars, Food Chemistry, 61,77–80.
- Makokha, A. O., Oniango, R. K., Njoroge, S. M., Kamar, O. K., 2002. Effect of Traditional Fermentation and Malting on Phytic Acid and Mineral Availability from Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Fungeo Millet (*Eleusine caracana*) Grain Varieties Grown in Kenya, Food and Nutrition Bulletin, 23, 241–245.
- Mallin, M. A., 2000. Impacts of Industrial Animal Production on Rivers and Estuaries, American Scientist, 88, 26–37.
- Mameesh, M. and Tomar, M. 1993. Phytate Content of Some Popular Kuwaiti Foods. Cereal Chemistry, 70,5, 502-503.
- Marshall, A. A., Samuel, J. E., Mary, U. E. and Inegbenose, G. I., 2011. Effect of Germination on the Phytase Activity, Phytate and Total Phosphorus Contents of Rice, Maize, Millet, Sorghum and Wheat, Journal of Food Science and Technology, 48, 724-729.
- Masud, T., Mahmood, T., Latif, A., Sammi, S. and Hameed, T., 2007. Influence of Processing and Cooking Methodologies for Reduction of Phytic Acid Content in Wheat (*Triticum aestivum*) Varieties, Journal of Food Processing and Preservation, 31, 583-594.
- McCollum, E. V. and Hart, E. B., 1908. On the Occurrence of A Phytin-Splitting Enzyme in Animal Tissues, Journal of Biological Chemistry, 4,6, 497-500.
- Messina, V., 2014. Nutritional and Health Benefits of Dried Beans, The American journal of clinical nutrition, 100, 437S-442S.
- Michael, E. N. A. and Wiebs, S., 1983. Changes in Phytase Activity and Phytate During Germination of Two Faba Bean Cultivars, Journal of Food Science, 48, 270-271.

- Milko, J., Oscar, M., Fumito, M., Petra, M. and De La Maria L. M., 2008. Current and Future Biotechnological Applications of Bacterial Phytases and Phytase-Producing Bacteria, Microbes and Environments, 23, 182-191.
- Moore, K. L., Schröder, M., Lombi, E., Zhao, F. J., McGrath, S. P., Hawkesford, M. J., Shewry, P. R. and Grovenor, C. R. M., 2010. NanoSIMS Analysis of Arsenic and Selenium in Cereal Grain, New Phytologist, 185, 434-445.
- Morgounov, A., Gomez-Becerra, H. F., Abugalieva, A., Dzhunusova, M., Yessimbekova, M., Muminjanov, H., Zelenskiy, Y., Öztürk, L. and Çakmak, İ., 2007. Iron and Zinc Grain Density in Common Wheat Grown in Central Asia, Euphytica, 155,1-2, 193-203.
- Moses, O. K., Yong, K. J., Bagorogoza, K. and Liavoga, A., 2003. Phytase Activity in Extracts of Flour and Bran from Wheat Cultivars: Enhanced Extractability with β -glucanase and Endo-xylanase, Journal of Cereal Science, 38, 307-315.
- Mubarak, A., 2005. Nutritional Composition and Antinutritional Factors of Mung Bean Seeds (*Phaseolus aureus*) as Affected by Some Home Traditional Processes, Food Chemistry, 89, 489-95.
- Mustafa, K. D. and Adem, E., 2014. Comparison of Autoclave, Microwave, IR and UV-Stabilization of Whole Wheat Flour Branny Fractions Upon the Nutritional Properties of Whole Wheat Bread, Journal of Food Science and Technology, 51,1, 59-66.
- Nahm, K. H., 2002. Efficient Feed Nutrient Utilization to Reduce Pollutants in Poultry and Swine Manure, Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 32,1, 1-16.
- Nair, V. C. and Duvnjak, Z., 1990. Reduction of Phytic Acid Content in Canola Meal by *Aspergillus ficuum* in Solid-State Fermentation Process, Applied Microbiology and Biotechnology, 34, 183-188.
- Nakano, T., Joh, T., Tokumoto, E. and Hayakawa, T., 1999. Purification and Characterisation of Phytase from Bran of *Triticum aestivum* L. cv. Nourin #61, Food Science and Technology Research, 5,1, 18-23.
- Naqvi, S. W. A., Jayakumar, D. A., Narvekar, P. V., Naik, H., Sarma, V. S. and Souza, D. W., 2000. Increased Marine Production of N_2O Due to Intensifying Anoxia on the Indian Continental Shelf, Nature, 408, 346-349.
- Novak, W. K. and Haslberger, A. G., 2000. Substantial Equivalence of Antinutrients and Inherent Plant Toxins in Genetically Modified Novel Foods, Food and Chemical Toxicology, 38, 473-483.
- O'Dell, B. L., De Boland, A. R. and Koirttyohann, S. R., 1972. Disribution of Phytate and Nutritionally Important Element Among the Morphological of Cereal Grains, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 20, 718.
- O'Neill, I. K., Sargents, M. and Trimble, M. L., 1980. Determination of Phytase in Foods by Phosphorus-31 Fourier Transform Nuclear Magnetic Resonance Spectrometry, Analytical Chemistry, 52, 1288-1291.
- Ogawa, M., Tanaka, K. and Kasai, Z., 1979. Phytic Acid Formation in Dissected Ripening Rice Grains, Agricultural Biological Chemistry, 43,10, 2211-2213.

- Oghbaei, M. and Prakash, J., 2013. Effect of Fractional Milling of Wheat on Nutritional Quality of Milled Fractions, Trends in Carbohydrate Research, 5, 53-58.
- Özkara, R., 1997, Arpada Beta Glukan İçeriği ve Malt Kalitesi Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 57 s.
- Özkaya, B. and Özkaya, H., 1998. Einflub Der Herstellungsbedin Gurgun Auf Der Phytinsäuregehalt in Bulgur, Getreide Mehl und Brot, 52,3, 182-184.
- Pandey, A., Szakacs, G., Soccol, C. R., Rodriguez-Leon, J. A. and Soccol, V. T., 2001. Production, Purification and Properties of Microbial phytases, Bioresource Technology, 7, 203-214.
- Pasamontes, L., Haiker, M., HenriquezHuecas, M., Mitchell, D. B. and vanLoon, A. P. G. M., 1997b. Cloning of the Phytases from *Emericella Nidulans* and the Thermophilic Fungus *Talaromyces thermophilus*, Biochimica et Biophysica Acta-Gene Structure and Expression, 1353,3, 217-223.
- Pasamontes, L., Haiker, M., Wyss, M., Tessier M. and VanLoon, A. P. G. M., 1997a. Gene Cloning, Purification, and Characterization of a Heat-Stable Phytase from the Fungus *Aspergillus fumigatus*, Applied and Environmental Microbiology, 63,5, 1696-1700.
- Paulickova, I., Ehrenbergerova, J., Fiedlerova, V., Gabrovská, D., Havlova, P., Holasova, M., Kopacek, J., Ouhrabkova, J., Pinkrova, J., Rysova, J., Vaculova, K. and Winterova, R., 2007, Evaluation of Barley Grass as a Potential Source of Some Nutritional Substances, Czech Journal of Food Science, 25, 65-72.
- Pekşen, E. ve Artık, C., 2005. Antibesinsel Maddeler ve Yemeklik Tane Baklagillerin Besleyici Değerleri, O. M. Ü Ziraat Fakültesi Dergisi, 20,2, 110-120.
- Peleg, Z., Saranga, Y., Yazıcı, A., Fahima, T., Öztürk, L. and Çakmak, İ., 2008. Grain Zinc, Iron and Protein Concentrations and Zinc-Efficiency in Wild Emmer Wheat Under Contrasting Irrigation Regimes, Plant and Soil, 306,1,2, 57-67.
- Perlas, L. A. and Gibson, R. S., 2002. Use of Soaking to Enhance the Bioavailability of Iron and Zinc from Rice-Based Complementary Foods Used in the Philippines, Journal of the Science of Food and Agriculture, 82, 1115-1121.
- Peterson, D. M., 1998. Malting Oats:Effects on Chemical Composition of Hull-Less and Hulled Genotypes, Cereal Chemistry, 75, 230-234.
- Poiana, M. A., Alexa, E. and Bragea, M., 2009. Studies Concerning the Phosphorus Bioavailability Improvement of Some Cereals Used in Nourishment, Roumanian Biotechnology Letters, 14, 4467-4473.
- Poinot, P., Arvisenet, G., Ggrua-Priol, J., Colas, D., Fillonneau, C., Le Bail, A. and Prost, C., 2008. Influence of Formulation and Process on the Aromatic Profile an Physical Characteristics of Bread, Journal of Cereal Science, 48, 686-697.
- Pointillart, A., 1991. Enhancement of Phosphorus Utilization in Growing Pigs Fed Phytate-Rich Diets by Using Rye Bran, Journal of Animal Science, 69, 1109-1115.
- Poutanen, K., Flander, L. and Katina, K., 2009. Sourdough and Cereal Fermentation in a Nutritional Perspective, Food Microbiology, 26, 693-699.
- Puminn, O., 2003. Broiler Performance and Mineral Utilization of Enzyme supplemented Defatted Rice Bran Diet During Heat Stress, PhD Thesis, The University of Tennessee, Knoxville.

- Pyler, E. J., 1988. Baking Science and Technology, Sosland Publishing Company 3th.Edt, USA.
- Quan, C., Zhang, L., Wang, Y. and Ohta, Y., 2001. Production of Phytase in a Low Phosphate Medium by a Novel Yeast *Candida krusei*, Journal of Bioscience and Bioengineering, 92,2, 154-160.
- Ragon, M., Aumelas, A., Chemardin, P., Santiago, S., Moulin, G. and Boze, H., 2008. Complete Hydrolysis of Myo-Inositol Hexakisphosphate by a Novel Phytase from *Debaryomyces castellii* CBS 2923, Applied Microbiology and Biotechnology, 78, 47-53.
- Ranhotra, G. S., Gelroth J. A., Astroth, K. and Bhatt, R. S., 1991. Relative Lipidemic Responses in Rats Fed Barley and Out Meals and Their Fractions, Cereal Chemistry, 68, 548-551.
- Ravindran, V., Bryden, W. L. and Kornegay, E. T., 1995. Phytates: Occurrence, Bioavailability and Implications in Poultry Nutrition, Poultry and Avian Biology Reviews, 6, 125-143.
- Ravindran, V., Cabahug, S. and Ravindran, G et al., 1999. Influence of Microbial Phytase On Apparent Ileal Amino Acid Digestibility of Food Stuffs For Broilers, Poultry Science, 78, 699-706.
- Ravindran, V., Ravindran, G. and Sivalogan, S., 1994. Total and Phytate Phosphorus Contents of Various Foods and Feedstuffs of Plant Origin, Food Chemistry, 50, 133-136.
- Reddy, N. R., 2002. Occurrence, Distribution, Content and Dietary Intake of Phytate, In: Food Phytases, N. R. Reddy, S. K. Sastry (Eds.), CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 25-51.
- Reddy, N. R., Sastry, S. K. and Salunkhe, D. K., 1982. Phytases in Legumes and Cereals, Advances in Food Research, 82, 1-92.
- Rehman, Z. and Salariya, A. M., 2005. The effects of Hydrothermal Processing on Antinutrients, Protein and Starch Digestibility of Food Legumes, International Journal of Food Science and Technology, 40, 695-700.
- Rehman, Z. U. and Shah, W. H., 2005. Thermal Heat Processing Effects on Antinutrients, Protein and Starch Digestibility of Food Legumes, Food Chemistry, 91, 327-331.
- Rizzello, C. G., Coda, R., Mazzacane, F., Minervini, D. and Gobbetti, M., 2012. Micronized by-Products from Debranned Durum Wheat and Sourdough Fermentation Enhanced the Nutritional, Textural and Sensory Features of Bread, Food Research International, 46, 304-313.
- Rizzello, C. G., Curiel, J. A., Nionelli, L., Vincentini, O., Cagno, R. D., Silano, M., Gobbetti, M. and Coda, R., 2014. Use of Fungal Proteases and Selected Sourdough Lactic Acid Bacteria for Making Wheat Bread With an Intermediate Content of Gluten, Food Microbiology, 37, 59-68.
- Saha, P. R., Weaver, C. M. and Mason, A. C., 1994. Mineral Bioavailability in Rats from Intrinsically Labeled Whole Wheat Flour of Various Phytate Levels, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 42, 2531-2535.
- Saharan, K., Kheterpal, N. and Bishnoi, S., 2001. HCl-Extractibility of Minerals from Ricebean and Fababean: Influence of Domestic Processing Methods, Innovative Food Science Emerging Technology, 2, 323-325.

- Sandsted, H. H., 1995. Is Zinc Deficiency a Public Health Problem? Nutrition, 11, 87-92.
- Sariyska, M. V., Gargova, S. A., Koleva, A. L. and Angelov, A. I., 2005. *Aspergillus niger* Phytase: Purification and Characterization, Biotechnology & Biotechnological Equipment, 19, 98-105.
- Schlemmer, U., Frolich, W., Prieto, R. M. and Grases, F., 2009. Phytate in Foods and Significance for Humans: Food Sources, Intake, Processing, Bioavailability, Protective Role and Analysis, Molecular Nutrition & Food Research, 53, S330–S37.
- Scott, J. J., 1991. Alkaline Phytase Activity in Nonionic Detergent Extracts of Legume Seeds, Plant Physiology, 95, 1298-1301.
- Segueilha, L., Lambrechts, C., Boze, H., Moulin, G. and Galzy, P., 1992. Purification and Properties of the Phytase from *Schwanniomycescastellii*, Journal of Fermentation and Bioengineering, 74, 7-11.
- Segueilha, L., Moulin, G. and Galzy, P., 1993. Reduction of Phytate Content in Wheat Bran and Glandless Cotton Flour by *Schwan niomyces castelii*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 41, 2451-2454.
- Sharif, M., Hussain, A. and Subhani, M., 2013. Use of Sprouted Grains in the Diets of Poultry and Ruminants, Paripex-Indian Journal of Research, 10,2, 1-7.
- Shewry, P. R., Napier, J. A. and Tatham, A. S., 1995. Seed Storage Proteins: Structures and Biosynthesis, The Plant Cell, 7, 945-956.
- Shieh, T. R. and Ware, J. H., 1968. Survey of Microorganism for the Production of Extracellular Phytase, Applied Microbiology, 16,1348–1351.
- Simell, M., Trunen, M., Piironen, J. And Vara, T., 1989. Feed and Food Applications of Phytase, Lecture at 3rd Meet, Industrial Applications of Enzymes, Barcelona, Spain.
- Singh, P. K., Shrivastava, N., Sharma, B. and Bhagyawant, S. S., 2015. Effect of Domestic Processes on Chickpea Seeds for Antinutritional Contents and Their Divergence, American Journal of Food Science and Technology, Vol. 3, No. 4, 111-117.
- Singh, B. and Sedeh, H. G., 1979. Characteristics of Phytases and Its Relationship to Acid Phoshatase and Certain Minerals in Triticale, Cereal Chemistry, 56,4, 267-272.
- Singh, B., Kunze, G. and Satyanarayana, T., 2011. Developments in Biochemical Aspects and Biotechnological Applications of Microbial Phytases, Biotechnology and Molecular Biology Review, 6, 69-87.
- Singh, P. K. and Khatta, V. K., 2002. Phytase Supplementation for Economic and Eco-Friendly Broiler Production, Journal of Eco-Physiology, 5, 117-121.
- Singh., B. and Reddy, N. R., 1977. Phytic Acid and Mineral Composition of Triticale, Journal of Food Science, 42,4, 1077-1092.
- Skoglund, M., Peterson, D. M., Andersson, R., Nilsson, J. and Dimberg, L. H., 2008. Avenanthramide Content and Related Enzyme Activities in Oats as Affected by Steeping and Germination, Journal Cereal Science, 48, 294-303.
- Steiner, T., Mosenthin, R., Zimmermann, B., Greiner, R. and Roth, S., 2007. Distribution of Phytase Activity, Total Phosphorus and Phytate Phosphorus in Legume Seeds, Cereals and Cereal by-Products as Influenced by Harvest Year and Cultivars, Volume 133, Issues 3–4, 15 February 2007, Pages 320-334.

- Suma, P. F. and Urooj, A., 2011. Nutrients, Antinutrients and Bioaccessible Mineral Content (in-vitro) of Pearl Millet as Influenced by Milling, Journal of Food Science and Technology, doi: [10.1007/s13197-011-0541-7](https://doi.org/10.1007/s13197-011-0541-7).
- Suzuki, U., Yoshimura, K. and Takaishi, M., 1907. About the Enzyme 'Phytase', Which Splits 'Anhydro-Oxy-Methylene Diphosphoric Acid', Bulletin of the College of Agriculture, Tokyo Imperial University, Germany, 7, 503-512.
- Şanlıer, N., 2012. Tam Tahıl Ürünleri ve Sağlık Üzerine Etkileri, Tam Buğday Ekmeği Yaygınlaştırma Sempozyumu, Ankara, 48s-54s.
- Şat, İ. G. and Keleş, F., 2004. Phytic Acid and Effects on Nutritions, GIDA, 29,6, 405-409.
- Tangkonchitr, U., Seib, P. A. and Hosney, R. C., 1981. Phytic acid I. Determination of Three Forms of Phosphorus in Flour, Dough and Bread, Cereal Chemistry, 58,3, 226-228.
- Tavajjoh, M., Yasrebi, J., Karimian, N. and Olama, V., 2011. Phytic Acid Concentration and Phytic Acid: Zinc Molar Ratio in Wheat Cultivars and Bread Flours, Fars Province, Iran, Journal of Agricultural Science and Technology, Vol. 13, 743-755.
- Theron, M. M. and Lues, J. F. R., 2011. Organic Acids and Food Preservation, CRC Press, ABD, pp. 21-95.
- Thompson, L. U. and Yoon, J. H., 1984. Starch Digestibility as Affected by Polyphenols and Phytic Acid, Journal of Food Science, 49, 1228-1229.
- Thompson, L. U., Button, C. L. and Jenkins, D. J. A., 1987. Phytic Acid and Calcium Affect the in Vitro Rate of Navy Bean Starch Digestion and Blood Glucose Response in Humans, American Journal of Clinical Nutrition, 46, 467-473.
- Tian, B., Xie, B., Shi, J., Wu, J., Cai, Y., Xu, T., Xue S. and Deng, Q., 2010. Physicochemical Changes in oat Seeds During Germination, Food Chemistry, 119, 1195-1200.
- Tolay, İ., Aytaç, Z., Gülmezoğlu, N., Budak, Z., Kınacı, G. and Kınacı, E., 2005. Tahıllarda Fitik Asit İçeriği ve Beslenme Açısından Önemi, Türkiye 6. Tarla Bitkileri Kongresi, 5-9 Eylül, Derleme Sunusu Cilt 2, Sayfa 1187-1192, Antalya.
- Torrieri, E., Pepe, O., Ventrino, V., Masi, P. and Cavella, S., 2014. Effect of Sourdough at Different Concentrations on Quality and Shelf Life of Bread, LWT- Food Science and Technology, 56, 508-516.
- Turner, B. L. and Haygarth, P. M., 2000. Phosphorus Forms and Concentrations in Leachate Under Four Grassland Soil Types, Soil Science Society of America Journal, 64, 1090-1097.
- Türksoy, S., 2018. Tam Tane Baklagil Unlarının Kimyasal, Fonksiyonel ve Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, GIDA, 43,1, 78-8, doi: [10.15237/gida.GD17078](https://doi.org/10.15237/gida.GD17078).
- Urbano, G., Lopez-Jurado, M., Aranda, P., Vidal-Valverde, C., Tenorio, E. and Porres, J., 2000. The Role of Phytic Acid in Legumes: Antinutrient or Beneficial Function? Journal of Physiology and Biochemistry, 56, 283-294.
- Urbonaviciute, A., Samuoliene, G., Brazaityte, A. and Duchovskisukauskas, A., 2009. The Effect of Variety and Lighting Quality on Wheatgrass Antioxidant Properties, Zemdirbyste-Agriculture, 96,3, 119-128.

- Ünal, S. S., 1979. Buğdaylarda Kaliteyi Etkileyen Faktörler ve Birbirleri Arasındaki İlişkiler, Gıda, 4,2, 71.
- Ünal, S. S., 1991. Hububat Teknolojisi, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yayın No: 29, İzmir, 219s.
- Ünal, S., 2002, Importance of Wheat Quality and Methods in Wheat Quality Determination, Hububat Ürünleri Teknolojisi Kongre ve Sergisi, pp. 25-37, Gaziantep, Türkiye.
- Van Hartingsveldt, W., Van Zeijl, C. M., Harteveld, G. M., Gouka, R. J., Suykerbuyk, M. E., Luiten, R. G., Van Paridon, P. A., Selten, G. C., Veenstra, A. E. and Van Gorcom, R. F et al., 1993. Cloning, characterization and overexpression of the phytase-encoding gene (phyA) of *Aspergillus niger*, Genetics, 127,1, 87-94.
- Vats, P. and Banerjee, U. C., 2004. Production Studies and Catalytic Properties of Phytases (Myo-Inositol-Hexakis-Phosphate Phosphohydrolases): an Overview, Enzyme and Microbial Technology, 35, 3-14.
- Vellingiri, V. and Hans, K. B., 2010. Effect of Certain Indigenous Processing Methods on the Bioactive Compounds of Ten Different Wild Type Legume Grains, Journal of Food Science and Technology, 49, 673-684.
- Venktachalam, M. and Sathe, S. K., 2006. Chemical Composition of Selected Edible Nut Seeds, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54, 4705-4714.
- Vidal-Valverde, C., Frias, J., Estrella, I., Gorospe, M. J., Ruiz, R. and Bacon, J., 1994. Effect of processing on some antinutritional factors of lentils, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 42, 2291-2295.
- Viveros, A., Centeno, C., Brenes, A., Canales, R. and Lozano, A., 2000. Phytase and Acid Phosphatase Activities in Plant Feedstuffs, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 48, 4009-4013.
- Vohra, A. and Satyanarayana, T., 2001. Phytase Production by the Yeast *Pichia Anomala*, Biotechnology Letter, 238, 551-554.
- Vohra, A. and Satyanarayana, T., 2003. Phytases: Microbial Sources, Production, Purification, and Potential Biotechnological Applications, Critical Reviews in Biotechnology, 23, 29-36.
- Walker, A. F. and Kochhar, N., 1982. Effect of Processing Including Domestic Cooking on Nutritional Quality of Legumes, Proceedings of the Nutrition Society, 41, 41-51.
- Wang, N., Hatcher, D., Tyler, R., Toews, R. and Gawalko, E., 2010. Effect of Cooking on the Composition of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and Chickpeas (*Cicer arietinum* L.), Food Research International, 43, 589-94.
- Weaver, C. M., Chen, P. H. and Rynearson, S. L., 1981. Effect of Milling on Trace-Element and Protein Content of Oats and Barley, Cereal Chemistry, 58, 120-124.
- Welch, R. M. and Graham, R. D., 2004. Breeding for Micronutrients in Staple Food Crops from a Human Nutrition Perspective, Journal of experimental botany, 55,396, 353-364.
- Weremko, D., Fandreyewski, H., Zebrowska, T., Han, K., Kim, J. H. and Cho, W. T., 1997. Bioavailability of Phosphorus in Feeds of Plant Origin for Pigs-Review, Asian-Australians Journal of Animal Sciences, 10, 551-566.

- Wu, W., Williams, P. and Kunkel, M. E et al., 1994. Thermal Effects on in-Vitro Protein Quality of Red Kidney Beans, Journal of Food Science, 59, 1187-1190.
- Wu, Y. V., 1983. Effect of Germination on Oats and Oat Protein, Cereal Chemistry, 60, 418-420.
- Wyss, M., Brugger, R., Kronenberger, A., Remy, R., Fimbel, R., Oesterhelt, G., Lehmann, M. and Loon, A. P., 1999a. Biochemical Characterisation of Fungal Phytases (*myo*-inositol hexakisphosphatephosphohydrolase):Catalytic Properties, Applied and Environmental Microbiology, 65, 367-373.
- Yadav, M., Sethi, J., Dahyia, K., Sood, S., Gupta, V., Singh, V. and Talwar, A., 2013. Effect of Triticum aestivium on Physiological and Biochemical Parameters in High Fat Diet Fed Rabbits, JK-Practitioner, 18,3-4, 39-42.
- Yanke, L. J., Selinger, L. B., and Cheng, K. J., 1999. Phytase Activity of *Selenomonas ruminantium*: a Preliminary Characterization, Letters in Applied Microbiology, 29, 20-25.
- Yaralı, E., (2017, 20 Temmuz). Gıda Kimyası Ders Notları, <http://www.akademik.adu.edu.tr>.
- Yılmaz, G. ve Ünal, S. S., 1993. Durum Buğdayı ve Ürünlerinin Fitik Asit Miktarı ve İşleme ile Meydana Gelen Değişmeler, Makarnalık Buğday ve Mamülleri Sempozyumu, Ankara, S 386-392.
- Yoon, J. H., Thompson, L. U. and Jenkins, D. J., 1983. The Effect of Phytic Acid on in Vitro Rate of Starch Digestibility and Blood Glucose Response, American Journal of Clinical Nutrition, 38, 835-842.
- Zamudio, M., Gonzales, A. and Medina, J.A., 2001. *Lactobacillus plantarum* Phytase Activity is Due to Non-Specific Acid Phosphatase, Letters in Applied Microbiology, 32, 181-184.
- Zhang, H. W. and Bai, X. L., 2011. Optimization of Extraction Conditions for Phytic Acid From Rice Bran Using Response Surface Methodology and Its Antioxidant Effects, Journal of Food Science and Technology, doi:10.1007/s13197-011-0521-y.
- Zhou, J. R. and Erdman, J. W., 1995. Phytic acid in health and Disease, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 35, 495–508.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Gümüşhane’de doğdu. İlköğretimi Gümüşhane Merkez Gazipaşa İlköğretim Okulu’nda tamamladı. Gümüşhane Lisesi’nde (YDA) eğitim gördükten sonra 2009 yılında Erzurum Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nde üniversite eğitime başladı. 2012 yılında Gümüşhane Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü’nde staj yaptı. 2013 yılında Atatürk Üniversitesi’nden gıda mühendisi olarak mezun oldu. 2015 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitime başladı. 2014-2017 yılları arasında Gümüşhane KYK ve Gümüşhane Üniversitesi yemekhanelerinde Gıda Mühendisi olarak görev aldı. Orta düzeyde İngilizce bilmektedir.

Yayınlar

Hendek Ertop, M., Bektaş, M., 2018. Enhancement of Bioavailable Micronutrients and Reduction of Antinutrients in Foods With Some Processes, Journal of Food and Health Science, 4(3), 159-165, doi: 10.3153/FH18016.

Ertop, U., Bektaş, M., Hendek Ertop, M., 2017. Antinutrient Compounds in Cereals and Pulses, NUTRICON Food Quality, Safety, Health&Nutrition Symposium, Skopje/Macedonia.

Bektaş, M., Hendek Ertop, M., 2017. Enhancement of Bioavailable Micronutrients in Food Grains by Reduction of Antinutrients by Some Food Processes, NUTRICON Food Quality, Safety, Health&Nutrition Symposium, Skopje/Macedonia.

Projeler

Bazı baklagil ve tahıllara uygulanan ön işlem ve proses koşullarının antinutrient faktör, mineral madde içeriği ile protein ve mineral biyoyararlanımı üzerindeki etkilerinin araştırılması – Araştırmacı.