



## In Vitro Bioaccessibility and Health Effects of Bioactive Compounds in Bread Produced by Sourdough Fermentation

Ceren İnce<sup>1,a</sup>, Ergun Köse<sup>1,b</sup>, Özlem Çağındı<sup>1,c,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Manisa Celal Bayar University, 45140 Muradiye/Manisa, Turkey

\*Corresponding author

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Review Article</i></p> <p>Received : 16/09/2020 Accepted : 05/08/2021</p> <p><b>Keywords:</b> Bioaccessibility Bioactive compounds Sourdough fermentation <i>In vitro</i> Bread</p>	<p>Sourdough bread is a traditional product, which is produced by mixing wheat, rye or other grain flours with water and lactic acid fermentation. The supposed mechanisms for the effect of foods produced by sourdough fermentation on health were probiotic effect of microorganisms, production of bioactive peptides and organic acids (acetic acid, butyrate, propionic acid), decreased amount of anti-nutrients (phytic acid, etc.), digestibility of starch and protein, increased bioaccessibility of phenolic compounds and bioavailability of minerals, degradation of gluten, new product to celiac patients. It was reported to have effects on nutrition, such as product development. In this review, the effect of sourdough fermentation on the ingredients in bread, <i>in vitro</i> bioaccessibility and health benefits are examined.</p>

Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(9): 1686-1694, 2021

## Ekşi Maya Fermantasyonu ile Üretilen Ekmeklerdeki Biyoaktif Bileşenlerin *In Vitro* Biyoerişilebilirliği ve Sağlık Üzerine Etkileri

MAKALE BİLGİSİ	ÖZ
<p><i>Derleme Makalesi</i></p> <p>Geliş : 16/09/2020 Kabul : 05/08/2021</p> <p><b>Anahtar Kelimeler:</b> Biyoerişilebilirlik Biyoaktif bileşenler Ekşi maya fermantasyonu <i>In vitro</i> Ekmek</p>	<p>Ekşi mayalı ekmek, buğday, çavdar veya diğer tahıl unlarının su ile karıştırılması ve laktik asit fermantasyonu sonucu elde edilen geleneksel bir üründür. Ekşi maya fermantasyonu ile üretilen gıdaların sağlık üzerindeki etkilerini sağlayan mekanizmaların; mikroorganizmaların probiyotik etkisi, biyoaktif peptit ve organik asitlerin (asetik asit, bütirat, propiyonik asit) üretimi, anti-besin (fitik asit vb.) miktarının azalması, fenolik bileşik ve antioksidan biyoerişilebilirliğinin artması, nişasta ve proteinin sindirilebilirliği ve minerallerin biyoyararlılığında artış, glutenin degradasyonu ile çölyak hastalarına yeni ürün geliştirme sağlaması olduğu bildirilmektedir. Bu çalışmada, ekşi maya fermantasyonunun ekmek bileşenleri üzerine etkisi, <i>in vitro</i> biyoerişilebilirliği ve sağlığa faydaları irdelenmiştir.</p>

<sup>a</sup> [ince.cerem@gmail.com](mailto:ince.cerem@gmail.com)  
<sup>c</sup> [ozlem.cagindi@cbu.edu.tr](mailto:ozlem.cagindi@cbu.edu.tr)

<sup>b</sup> <http://orcid.org/0000-0002-6436-9208>  
<http://orcid.org/0000-0001-9931-2327>

<sup>b</sup> [ergunkose@gmail.com](mailto:ergunkose@gmail.com) <sup>b</sup> <http://orcid.org/0000-0002-1893-1984>  
[ozlem.cagindi@cbu.edu.tr](mailto:ozlem.cagindi@cbu.edu.tr)



## Giriş

Fermente gıdalar “kontrollü mikrobiyal büyüme ve gıda bileşenlerinin enzimatik etkisiyle üretilen gıdalar” olarak tanımlanmaktadır. Fermantasyon; mineral ve proteinlerle kompleks oluşturarak fitaz enzimlerinin yıkımı sonucu gerekli optimum pH’ın oluşmasını sağlar (Marco ve ark., 2017). Ekşi maya fermantasyonunda, laktik asit bakterileri (LAB) metabolik aktivite göstererek asit oluşumunda görev almaktadır. LAB, bağırsak florasındaki pH’ı düşürüp patojenik bakterileri ortamdaki inhibe ederek, fermantasyon yan ürünlerinin üretimi yoluyla bağırsakta fizyolojik yarar sağlama potansiyeline sahiptir. Bunun yanı sıra bazı vitaminlerin üretimi ile ekşi maya fermantasyonu toksinleri ve anti-besinlerin miktarında da azalma sağlayabilmektedir (Abu-Salem ve ark., 2014; Derrien ve Vlieg, 2015; Filannino ve ark., 2015; Salazar ve ark., 2016).

Biyoerişilebilirlik, alınan gıdanın sindirildikten sonra, içerisindeki besin öğelerinin gıdanın matriksinden çıkabilen ve ince bağırsakta emilim için hazır olan miktarı olarak tanımlanmaktadır (Fernández-García ve ark., 2009). Biyoyararlılık da, sindirilmiş gıdanın vücuttaki metabolik veya fizyolojik fonksiyonlarda belirli hedef bölgelere ulaşan kullanıma hazır halde bulunan gıda veya biyoaktif bileşiklerin emilim oranı olarak tanımlanır. Beslenme bilimi alanında *in vitro* sindirim yöntemi oldukça kullanılmaktadır. İnsan ve hayvanlar üzerinde yapılan *in vivo* denemelerin analiz tasarımlarının ve sonuç yorumlamalarının zorluğu, pahalı maliyetleri ile bireyler arasındaki farklılıklar, ayrıca etik nedenlerden dolayı *in vitro* sindirim modelleri üzerinde yapılan çalışmalar gıdaların sindirimini simüle etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Statik *in vitro* modellerinin avantajlı yönleri, laboratuvar içi ve laboratuvarlar arası tekrarlanabilirlik, sağlamlık, basitlik, nispeten düşük maliyet ve her sindirim aşamasının kolay değerlendirilmesidir (Hemery ve ark., 2010; Angelino ve ark., 2017; Brodtkorb ve ark., 2019). Gıda matriksinin, gastrointestinal sistemdeki koşullara (örneğin, midedeki düşük pH, safra asitleri) karşı koruyucu etkisi olan LAB probiyotik suşlarının hayatta kalmasında önemli bir rol oynadığı bildirilmektedir. Fermente gıdalardan elde edilen mikroorganizmaların gastrointestinal sistemde bağırsaklara ulaşabildiği tespit edilmiştir (Bove ve ark., 2013; Zhang ve ark., 2016).

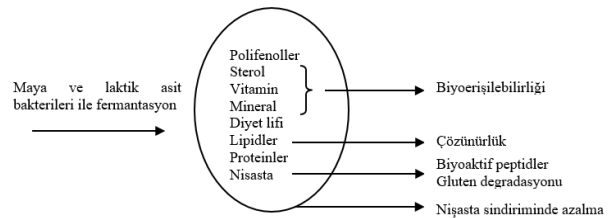
Ekşi maya fermantasyonu ile üretilen gıdaların sağlık üzerine etkisi için varsayılan mekanizmaları; mikroorganizmaların probiyotik etkisi, biyoaktif peptit ve organik asitlerin (asetik asit, bütirik asit, propiyonik asit) üretimi, anti-besin (fitik asit vb.) miktarının azalması, fenolik bileşik ve antioksidanların biyoerişilebilirliğinin artması, nişasta ve proteinin sindirilebilirliği ve minerallerin biyoyararlılığında artış, glutenin degradasyonu olduğu bildirilmektedir. Böylelikle de tüketiciye, özellikle çölyak hastalarına besinsel ve sağlığa faydalı yeni ürünlerin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Tahıl ürünlerindeki karbonhidratların fermantasyonu sonucunda oluşan kısa zincirli yağ asitleri hem sağlığa faydalı etkileri hem de ekmeğin aromasının oluşmasında etkilidir (Erginkaya ve Kabak, 2011). Ekşi maya fermantasyonunun ekmeğin fiziksel özelliklerinin kalitesini geliştirmenin yanında önemli etkilerinden biri de fırıncılık ürünlerindeki biyoaktif bileşenlerin

biyoyararlılığının artmasını sağladığı bildirilmektedir. Ekşi maya ekmeği; aroması, tekstürü, raf ömrünün uzun olması özellikleri ile tüketiciler tarafından tercih edilmektedir (Göçmen, 2001). Bu çalışmada, ekşi maya fermantasyonunun ekmeğin bileşenleri üzerine etkisi, *in vitro* biyoerişilebilirliği ve sağlığa faydaları irdelenmiştir.

## Ekşi Maya Fermantasyonu

Ekşi hamur, doğal fermantasyon yöntemi, olgun ekşi hamur ilavesi yöntemi, starter kültür kullanımı ile 3 farklı şekilde hazırlanabilmektedir. Ekşi hamur fermantasyonunda LAB’tan oluşan starter kültür kullanımı yöntemi tercih edilerek floranın kontrol altına alınması sağlanmaktadır. Ekşi hamur içeriğindeki LAB’lar, mayaların tür ve sayıları ile pH kimyasal parametreleri ile karakterize edilmektedir. Ekşi hamur fermantasyonunda heterofermentatif LAB önemli rol oynamaktadır. Ekşi hamurdan izole edilen mayalar ise *Saccharomyces cerevisiae* başta olmak üzere *S.exiguus*, *S.delbrueckii*, *S.uvarum* türleri de bulunmaktadır (Erginkaya ve Kabak, 2011). Ekşi hamur tekniğinde maya ve bakteriler birlikte faaliyet göstermekte ve gerekli florayı oluşturmaktadır. Fermantasyonda görev alan LAB’lar probiyotik nitelikte olup ekşi hamurdan üretilen ekmeğin de probiyotik bir ürün haline gelmektedir. Ekşi hamurda mayalar ve heterofermentatif LAB’ların fermantasyonunda hamurun kabarmasından sorumlu iken laktik asit bakterileri ekmeğin elastikiyetini, asitliğini ve lezzetini olumlu yönde etkilemektedir.

Fermantasyon işlemi ile bu gıdaların protein miktarlarının kalitesi ve sindirilebilirliğinin değiştiği, bazı esansiyel amino asitlerin arttığı, özellikle B grubu vitaminleri, fenolik bileşikler ve biyoaktif peptitler olmak üzere bazı biyoaktif bileşiklerin miktarının arttığı rapor edilmiştir (Capozzi ve ark., 2012; Pallin ve ark., 2016). Fermantasyon sırasında, tahıl karbonhidratlarının, proteinlerin, lipidlerin ve fenolik bileşiklerin mikrobiyal ve enzimatik aktivasyonla dönüşümleri meydana gelmektedir (Dimidi ve ark., 2019). Ekşi maya fermantasyonu, bileşik seviyelerini azaltarak veya artırarak, gıdadaki besin öğelerinin ve biyoaktif bileşenlerin biyoyararlılıklarının değişimi ile beslenme kalitesini etkileyebilmektedir. Şekil 1’de Ekşi maya fermantasyonunun ekmeğin beslenme kalitesini etkilediği potansiyel mekanizmalar yer almaktadır.



Şekil 1. Ekşi maya fermantasyonunun ekmeğin beslenme kalitesini etkilediği potansiyel mekanizmalar (Poutanen ve ark., 2009)

Figure 1. Potential mechanisms by which sourdough fermentation affects the nutritional quality of bread (Poutanen ve ark., 2009)

Ekşi maya fermentasyonu sırasında pH'taki azalmanın etkisi oldukça önemlidir. Ekşi hamur mayası fermentasyonu sırasında düşük pH, hidrolazların aktivitesini destekleyerek arabinoksilanların kimyasal olarak parçalanmasına ve fenolik asitlerin esterlerinin ve glikozitlerinin hidrolizine katkıda bulunabilir. Ekşi hamurlardan hazırlanan ekmeklerde glisemik indeks (Gİ) değerinin oldukça düşük olması, hamurdaki  $\beta$ -glukanın yıkıma uğramaması, pH düşmesiyle fitaz enziminin fitik asidi parçalayarak fitik asidin içeriğinin azalması ekşi hamur fermentasyonunun diğer önemli noktaları olarak görülmektedir (Sıkılı ve Karapınar, 2002; Boz ve Karaoğlu, 2008; Bircan ve ark., 2017).

LAB türleri tarafından üretilen ekzopolisakkaritlerin (EPS) ekşi maya ekmek üretiminde polisakkaritlerin ikame edilmesi için kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. *Lactobacillus sanfranciscensis* tarafından üretilen fruktan tip EPS'nin hamur reolojisi ve ekmek tekstürünü olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. EPS üreten LAB türlerinin starter kültür olarak kullanılması ekmek üretimindeki pahalı hidrokolloidlerin kullanımını azaltıp ekmek kalitesini artırması açısından önem taşıyacağı bildirilmektedir (Brandt, 2014; Taşdelen, 2018).

### **Ekşi Maya Fermentasyonunun Glutensiz ve Baklagil Unları Üzerine Etkisi**

Ekşi mayanın Gİ değerini azaltma yanıtıyla bağlantılı olup enzimatik nişasta hidroliz hızını azaltarak geleneksel ekmeğin besin kalitesini iyileştirmede görev aldığı belirtilmiştir. Ekşi maya fermentasyonunda starter kültür suyu, un ve fermentasyon koşullarının hamur özellikleri ile ekmek kalitesini önemli düzeyde etkilediği tespit edilmiştir. Ekşi maya hamurunda LAB varlığı ısı işlem sırasında nişastanın tahmin edilen Gİ değerini düşürmekle birlikte ortamda gluten olduğunda nişastanın azalmasına yol açmaktadır (Östman ve ark., 2002).

Çizelge 1'de ekşi maya fermentasyonunun glutensiz ve baklagil unları üzerine etkisi araştırılan bazı çalışmalar yer almaktadır. Bu çalışmalarda, pirinç, karabuğday, sorgum, teff, kinoa, nohut, mercimek, fasulye, bezelye gibi glutensiz un, pseudo tahıllar ve baklagil unları ekşi maya fermentasyonunda kullanılmıştır. Çalışmaların sonuçları incelendiğinde ekşi maya ilavesinin serbest amino asit, çözümlü lif ve toplam fenolik madde içeriğini artırdığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, ekmek tekstürü, Gİ değeri ve raf ömrü, kullanılan LAB suşları ve hamur bileşimlerine bağlı olarak farklı şekillerde etkilendiği de bildirilmektedir.

Glutensiz gıdaların düşük duyuşal, besinsel ve tekstürel özelliklere sahip olduğu düşünüldüğünde fonksiyonel özelliklere ve gelişmiş besin değerlerine sahip ürünler elde etmek için glutensiz ekmeğin üretiminde ekşi maya kullanılması üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Yeni nesil ekşi maya ekmeği yapımında karabuğday, yulaf, arpa, çavdar, sorgum, kinoa ve amarant ununun buğday unu ile birlikte kullanılabilmesi bildirilmektedir (Coda ve ark., 2014; Rizzello ve ark., 2016).

Ekşi maya fermentasyonunun olumlu etkileri baklagil unu bazlı ekşi mayalı ekmek çalışmaları kapsamında incelenmiştir. Baklagil unları, fitik asit, yoğunlaştırılmış tanenler, alkaloidler, lektinler, pirimidin glikozitler ve proteaz inhibitörleri içermektedir ve bu anti-besin

faktörlerini azaltmak için ekşi maya fermentasyonu kullanılabilir. Ekşi hamur içeren glutensiz formülasyonların hazırlanmasında, düşük Gİ değerli ekmeklerin geliştirilmesi için un ve laktik asit bakteri suşunun seçimi büyük önem taşımaktadır (Gobbetti ve ark., 2014; Wolter ve ark., 2014; Kahraman, 2016).

Nohut unları ile zenginleştirilmiş glutensiz ekmek üretiminin gerçekleştirildiği çalışmada; ekmeğin, protein (%24-36) ve toplam fenolik madde miktarlarında artış sağlanırken, nişasta miktarlarında azalma (~%14) olduğu belirtilmiştir. Kabuğu ayrılmış ve kavulmuş nohut unu içeren ekmeklerde yavaş sindirilen nişasta miktarı ve *in vitro* protein sindirilebilirliği artmıştır. Nohut unu ilave edilen ekmeklerde duyuşal kalite artmış, genel beğeni yükselmiştir. Farklı bir formülasyonla hazırlanan ekmekte *Lactobacillus sanfranciscensis* ile inokule edilmiş ekşi maya (%30) ilavesinin ekmeğin *in vitro* protein sindirilebilirliğini artırdığı bildirilmiştir. Diğer yandan ekşi maya ilave edilen ekmeğin duyuşal kalitesinde azalma olduğu tespit edilmiştir (Kahraman, 2016).

Ekşi maya hamurunda EPS'lerin glutensiz ekmeklerin özelliklerini artırmak için kullanımı değerlendirilmiştir. Yapılan bir çalışmada, EPS'lerin sorgum, karabuğday, teff ve kinoa unu kullanılmasıyla elde edilen ekmeklerde kullanıldığında sertliğinin azalması ve raf ömrünün arttığı gözlemlenmiştir (Lynch ve ark., 2018). Ekşi maya fermentasyonunun, kestane unu kullanılarak yapılan glutensiz ekmeklerin besinsel özelliklerini geliştirdiği de görülmüştür (Rinaldi ve ark., 2017).

### **Ekşi Maya Fermentasyonunun Gastointestinal Hastalıklar ve Sağlık Üzerine Etkisi**

Şekil 2'de görüldüğü gibi ekşi maya fermentasyonu ekmeğin beslenme kalitesini etkilediği potansiyel mekanizmalara sahiptir. Tam buğday ekmeği kalsiyum, çinko ve demir gibi temel minerallerin emilimini engelleyen önemli miktarda fitat içermektedir. Fitat, fitaz enzimi tarafından büyük ölçüde bozunmaktadır. Buğdayda fitaz enzim aktivitesinin ekşi hamur mikroorganizmalarına göre baskın olduğu görülse de bakterilerin fermentatif metabolizması nedeniyle ekşi hamurdaki pH'ın düşürülmesi endojen tahıl fitazı için uygun koşullar sağlamaktadır. Ekşi maya fermentasyonunun özellikle tam buğday ekmekler ile yapılan *in vivo* çalışmalarda kan seviyesindeki Gİ değerini düşürdüğü, mineral biyoyararlılığını artırdığı bildirilmiştir. Mayalanmış ekmeğe kıyasla ekşi maya ekmeğindeki demir biyoyararlılığındaki artış, hücrel bir bağırsak modeli kullanılarak da tespit edilmiştir (Rodriguez-Ramiro ve ark., 2017; Catzeddu, 2019). Ayrıca, ekşi hamur ekmeklerinin, prolamin proteinlerinin hidrolizini ve bazı ekmek bileşenlerinin antioksidan ve antihipertansif aktivitelerini içeren araştırmalar bulunmaktadır. Mikrobyal enzimler veya tahıllarda bulunan doğal enzimler yoluyla bileşenlerin hidrolizlerini artırarak ekmekteki toksik proteinleri azaltmak amacıyla yeni uygulamalar üzerine de çalışılmaktadır. Ekşi hamurdan izole edilen bakterilerin etkisini inceleyen *in vitro* çalışmalara dayandırılarak ekşi maya fermentasyon mikroorganizmalarının antimikrobiyal, antihipertansif ve kolesterol düşürücü özellikler sergilediği görülmüştür (Rizzello ve ark., 2008; Li ve ark., 2019; Dimidi ve ark., 2019).

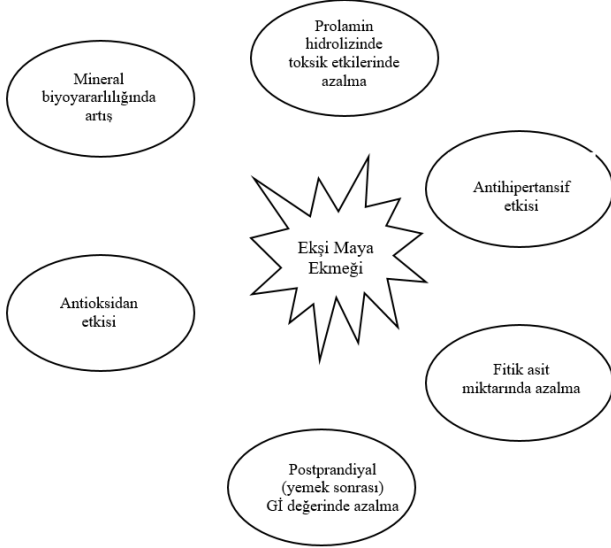
Çizelge 1. Ekşi maya fermantasyonunun glutensiz unlar üzerine etkisini araştırılan bazı çalışmalar  
Table 1. Some studies investigating the effect of sourdough fermentation on gluten-free flours

Suş	Glutensiz un	Sonuçlar	Referans
<i>L. amylovorus</i> DSM19280 <i>L. amylovorus</i> DSM20531T	Kinoa	<i>L. amylovorus</i> DSM19280 ile fermente edilen ekşi hamur mayasının ekmeklerin raf ömrünü uzattığı, Bazı antifungal bileşiklerin konsantrasyonlarının arttığı görülmüştür.	Axel ve ark., 2015
<i>L. plantarum</i> C48 <i>L. brevis</i> AM7	Barbunya Nohut Çimlendirilmiş Bezelye Mercimek	Serbest amino asitler, çözünür lifler, toplam fenoller, antioksidan ve fitaz enzimi aktiviteleri ve GABA seviyeleri artmıştır. Fermantasyon sonrası ekşi maya örneklerinde yoğunlaşmış tanenler azalmıştır.	Curriel ve ark.,2015
<i>Weissella cibaria</i> MG1 <i>L. plantarum</i> FST1.7	Karabuğday Kinoa Sorgum Teff	Karabuğday ve teff unların ekşi maya ekmeklerinin dirençli nişasta miktarında azalma, Un ve laktik asit bakterilerinin türüne bağlı Gİ değeri; karabuğday ve kinoa ekşi maya ekmeklerinde Gİ değeri artma, <i>L. plantarum</i> FST1.7 ile fermente edilmiş sorgum, teff ve buğday ekmeğinde azalma saptanmıştır.	Wolter ve ark., 2014
<i>W. cibaria</i> MG1 <i>L. reuteri</i> Y2 <i>L. reuteri</i> VIP	Sorgum	Hamur mayası fermantasyonu sırasında oluşan EPS'ler, hamur dayanıklılık ve elastikiyetini önemli ölçüde azaltmıştır.	Galle ve ark., 2012
<i>L. fermentum</i> (Ticari starter PL3)	Pirinç Ekstrüde mısır Karabuğday mısır Patates nişastası	%7,5, %15, %22,5 ve %30 ekşi hamur içeren ekmekler arasında ekşi hamur içerenlerin sadece %15 ve %22,5'i düşük Gİ değerine sahiptir. Hamur mayası içeren ekmeklerin %15 ve %22,5'inin kısmi fırınlanmış örnekleri için, spesifik hacim artmış ve kırıntı sıklığı azalmıştır.	Novotni ve ark., 2012
<i>L. reuteri</i> TMW 1.106 <i>L. animalis</i> TMW 1.971 <i>L. curvatus</i> TMW 1.624	Pirinç Kinoa Karabuğday Karabuğday çekirdeği	Suşlar tarafından önemli miktarlarda EPS'ler üretildiği gözlenmiştir. Ekşi hamur numunelerindeki EPS seviyeleri, un tipi, sakaroz konsantrasyonu, hamur verimi ve inokulasyon miktarından etkilendiği bildirilmiştir.	Rühmkorf ve ark., 2012
<i>L. plantarum</i> FST 1.7 <i>L. sanfranciscensis</i> TMW1.52	Esmer pirinç Karabuğday Soya Mısır nişastası	Sertlik ve elastikiyette artış gözlenmiştir. <i>L. plantarum</i> FST 1.7 ile fermente edilmiş ekşi hamur mayası içeren ekmekte küf gelişimi gecikmiştir.	Moore ve ark., 2008
<i>L. plantarum</i> L2-1	Sorgum Patates nişastası	Ekşi maya fermantasyonu üzerine proteinler küçük peptitlere ayrıldığı, Ekşi maya içeren ekmeğin içindeki kırıntı kusurları ortadan kalkmış, kontrol ekmeğine kıyasla depolama sırasında kırıntı sertliğinde fark olduğu görülmüştür.	Schober ve ark., 2007

Anjiyotensin I dönüştürücü enzimi (ACE), insanlarda kan basıncını arttırmaktan sorumludur. Özellikle peynir veya süt ürünlerinde ACE inhibitör etkisi olan biyoaktif peptitler mevcuttur. Tam buğday ununun ekşi hamur mayası fermantasyonu sırasında kullanılan seçilmiş LAB'ın, potansiyel anti-hipertansif etkileri olan ACE inhibitör peptitlerini ve beyin hücrelerinin birbirleri ile olan iletişimlerinin gerçekleşmesini sağlayan bir nörotransmitter olan  $\gamma$ -aminobutirik asidini (GABA) sentezleyebildiği bildirilmiştir (Rizzello ve ark., 2008). ACE inhibitörü peptitler ve GABA sentezini araştırmayı hedefleyen bir başka çalışmada, buğday proteinlerine yönelik proteinaz ile peptidaz aktivitelerinin ve GABA sentezleme kapasitesinin belirlenmesi için seçili ekşi maya

laktik asit bakterileri kullanılmıştır. Buğday, kepek, çavdar unlarının ekşi maya fermantasyonu sonucunda en yüksek ACE-inhibitör aktivitesi, unun yarı-sıvı koşullar altında fermente edilmesiyle (hamur verimi 330) özellikle tam buğday unu kullanımında elde edilmiştir. Hamur verimi 160'a düştüğünde GABA sentezinin arttığı, en yüksek GABA sentezinin ise (258,71 mg/kg) kepekli buğday ekşi hamurunda olduğunu bildirmişlerdir. Daha önce ACE inhibitörü olarak bildirilmeyen 14 peptit, ekşi mayalı tam buğday unu hamurunun (IC50 0,19-0,54 mg/mL) suda/tuzda çözünür ekstraktından tanımlanmıştır (Rizzello ve ark., 2008). Çeşitli tahıl unları ve farklı laktik asit bakterileri ile hazırlanan ekşi maya hamurlarında, GABA ve serbest amino asit içeriğindeki değişimler incelenmiş,

starter kültür aşılması yapılmadan asitlendirme işlemi ile hazırlanan kontrol grubuna göre, farklı laktik asit bakterilerinin inokule edildiği hamurlardaki serbest amino asit içeriklerinde %28-76 arasında artış tespit edilmiştir. Çalışmanın devamında kontrol örneklerinde GABA içerikleri  $7\pm 2$ - $78\pm 13$  mg/kg aralığında iken, fermantasyon uygulanan örneklerde artış göstererek  $30\pm 13$ - $1031\pm 9$  mg/kg'a çıktığı belirlenmiştir (Coda ve ark., 2010).



Şekil 2. Ekşi hamur fermantasyonunun ekmeğin besinsel özellikleri üzerindeki etkisi (Catzeddu, 2019)

Figure 2. The effect of sourdough fermentation on the nutritional properties of bread (Catzeddu, 2019)

Ekşi maya fermantasyonu gastrointestinal hastalıklar üzerine de oldukça faydalı etkiler sağlamaktadır. Bu etkilerden biri de, ekşi hamur fermantasyonundaki mikroorganizmaların gluten proteinlerini hidrolize etmesidir. Hidrokoloidlerin, ekşi maya fermantasyonu sırasında üretilen organik asitlerin ve işleme tekniklerinin de (kısmi pişirme vb.) glisemik yanıtı önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Çimlendirilmiş buğday, çavdar tanelerinin ekşi hamur fermantasyonunda kullanılmasıyla gluten hidrolizinin gerçekleştiği bildirilmiştir (Novotni ve ark., 2012). Bununla beraber yapılan bir başka *in vitro* bir çalışmada, gluten bozunma seviyesinin, kullanılan ekşi hamur mayası mikroorganizmalarının türüne bağlı olduğu ve buğday fermantasyonunun gliadin üzerindeki transglutaminaz 2'nin bağlanma yerlerini yeterince azaltmadığı, glutenin fermantasyon sırasında hidrolize edilmediği ve bu nedenle çölyak hastalığında tüketim için her zaman güvenli kabul edilemeyeceği bildirilmiştir (Engström ve ark., 2015; Mandile ve ark., 2017).

Yapılan *in vitro* bir çalışmada, ekşi mayalı ekmeğin tüketiminin bağırsak mikrobiyotası üzerinde huzursuz bağırsak sendromu (IBS) bulunan hastalar için olumlu etkileri vurgulanmaktadır (Costabile ve ark., 2014). Ekşi mayalı ekmeğin sağlık yararları sağlayabileceği mekanizmalar, temel olarak ekşi hamur işleminin ekmeğin besinsel içeriği üzerindeki etkisidir. Örneğin, ekşi hamur mayalama işlemi, ekmeğin monosakkarit, disakkarit vb. karbonhidrat içeriğini azaltmakta ve bu da ekmeğin IBS hastaları tarafından tolere edilerek sindirilmesini sağlamaktadır. Ekşi hamur mikroorganizmaları, özellikle

*Saccharomyces cerevisiae* ve *Kluyveromyces marxianus* mayaları tarafından karbonhidrat içeriğini azalttığı tespit edilmiştir (Laatikainen ve ark., 2017; Dimidi ve ark., 2019). Yapılan bazı çalışmalarda, ekşi maya ekmeğinin gastrointestinal sistem fonksiyonu ve bozukluklarındaki etkileri incelenmiştir (Costabile ve ark., 2014; Laatikainen ve ark., 2016; Polese ve ark., 2018). On yedi sağlıklı yetişkinin katıldığı bir çalışmada, iki ekşi hamur mayası veya iki bira mayası kullanılarak yapılan kruvasanlar tek bir öğünde tüketilecek şekilde rastgele verilmiştir. Mide boşalmasının manyetik rezonans (MR) görüntüleme analizi yapıldığında ekşi maya kruvasanlarının bira mayası kruvasanlarına kıyasla toplam mide hacminin (%11) ve hidrojen üretiminin (%30) azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlar, IBS hastalarının ekşi maya kruvasanlarını bira mayası kruvasanlarına göre daha rahat bir biçimde tüketebileceğini düşündürmektedir (Polese ve ark., 2018). Diğer bir çalışmada da, geleneksel olarak yapılmış ekşi hamur mayalı çavdar ekmeği ile karbonhidrat içeriğini azaltan özel bir ekşi maya sistemi kullanılarak hazırlanan çavdar ekmeğinin etkisi IBS'li 87 hastada 4 haftalık beslenme programı ile araştırılmış ve geleneksel ekşi maya çavdar ekmeğine kıyasla karbonhidrat içeriği azaltılmış ekşi mayalı çavdar ekmeğinde gastrointestinal semptomlarda önemli ölçüde hafifleme gözlemlendiği belirtilmiştir (Laatikainen ve ark., 2016). Ekşi mayalı ekmeğin bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkisinin araştırıldığı diğer bir çalışma *in vitro* ve *in vivo* olarak gerçekleştirilmiştir. Farklı zaman dilimlerinde fermente edilmiş ekşi maya buğday ekmeğinin insan bağırsak mikrobiyotası üzerindeki etkisi, IBS'li üç hastadan ve üç sağlıklı donörden alınan dışkı örnekleri ile *in vitro* kesikli kültürler kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada sonucunda, 8 saat boyunca fermente edilen ekşi maya ekmeğinin 15 saatlik inokülasyonundan sonra IBS hastalarından alınan dışkı örneklerine bakılmış ve fermente edilen ekşi maya ekmeğinin, fermente edilmemiş ekmeğin ve 16 saat mayalı ekmeğin, fermente edilmiş ekmeğe göre fermantasyon sonucunda oldukça düşük gaz üretimi meydana geldiği belirtilmiştir ve ekşi mayalı buğday ekmeğinin bağırsak mikrobiyotası tarafından daha yavaş fermente edildiği öne sürülmüştür (Costabile ve ark., 2014).

### Ekşi Maya Fermantasyonu ile Üretilen Ekmeklerdeki Biyoaktif Bileşenlerin *In Vitro* Biyoerişilebilirliği Üzerine Etkisi

Çeşitli tahıl tanelerinin kepeğinde bulunan fenolik bileşiklerin gıda matriksindeki sindirimini etkili bir şekilde sağlayan ön işleme tekniği fermantasyondur. Fermantasyon uygulamasıyla fenolik asitlerin biyoerişilebilirliklerinin arttığı bildirilmiştir. Fermantasyon sırasında mikroorganizmalar tarafından üretilen enzimlerin, kepekteki bağlı polifenollerin serbest bırakma ve böylece biyoerişilebilirliklerini artırma potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir (Anson ve ark., 2009). Yapılan *in vitro* çalışmalar ekşi maya fermantasyonunun ekmeklerdeki biyoaktif bileşikler üzerine etkili olduğunu göstermiştir. Doğal buğday kepeği içeren bir ekmeğin, buğday kepeğinin fermente edildiği bir ekmeğin ve buğday kepeğinin hem fermente edildiği hem de enzimatik olarak işlem gördüğü ekmeğin karşılaştırıldığı bir çalışmada, üç ekmeğin çeşidi de başlangıçta aynı ferulik asit, sinapik asit ve p-kumarik asit

içeriğine sahip iken, dinamik bir *in vitro* sindirim yöntemi uygulandıktan sonra, ferulik asidin biyoyararlılığı, doğal buğday kepeği ekmeğine kıyasla; buğday kepeğinin fermente edildiği ekmekte iki kat, buğday kepeğinin fermente ve enzimatik olarak işlenmiş ekmekte beş kat daha yüksek olduğu bulunmuştur. p-Kumarik asit ve sinapik asit için biraz daha az miktarda artış olmakla birlikte benzer bir eğilim gözlenmiştir. Biyoproses ile işlenmiş kepekli ekmekte, biyoerişilebilirlikteki yüksek artışın kepeğin hücre duvarlarının yapısal olarak parçalanmasına yol açabilen hidrolitik enzimlerden kaynaklanan farklı buğday lifi polimerlerinin hidrolizine bağlı olabileceği belirlenmiştir. Enzimlerin eklenmesinin ve fermantasyondan kaynaklanan endojen enzimlerin aktivasyonu nedeniyle önemli miktarda bağlı fenolik bileşik elde edilebileceği de bildirilmiştir (Koistinen ve ark., 2017). Pirinç kepeği (RB) ilavesi ile birlikte şerbetçiotu ekşi maya fermantasyonunun etkisi, yanıt yüzey metodolojisine dayalı olarak RB, ekşi maya ve şerbetçiotu ekstrakt miktarlarını optimize ederek buğday ekmeğinin teknolojik, biyoaktif ve duyuşsal özellikleri araştırılmıştır. Optimize edilmiş formüle göre üretilen ekmeğ; kalite özellikleri, biyolojik olarak erişilebilen fenolikler ve antioksidan aktivite açısından kontrol ekmeği, şerbetçi otu hamur mayası veya RB ilave edilen ekşi maya ekmeği ile karşılaştırılmıştır. Optimize edilmiş ekmeğin *in vitro* sindirimi sırasında ferulik asit ve sinapik asit miktarı, kontrol ekmeğine kıyasla daha düşük olduğu bulunmuş, *in vitro* gastrointestinal sindirimden sonra RB ilaveli ekşi maya ekmeğinin antioksidan aktivitesi ve fenolik içeriğinin arttığı saptanmıştır (Iraklı ve ark., 2019). Fenolik asitlerin biyoerişilebilirliğinin belirlenmesi ve metabolik sindirimlerinin incelenmesi için yapılan bir çalışmada, *in vitro* kolon modeli kullanılmış, fenolik bileşiklerin farklı düzeyde hidrosilasyonu sonucu açığa çıkan kolon sonu metabolitlerinin miktarında artış gözlemlenmiştir (Yu ve Beta, 2015). *In vitro* ve *in vivo* sistemlerde yapılan çalışmalarla yüksek antioksidan kapasiteleri olduğu kanıtlanmış ve buna bağlı olarak çeşitli epidemiyolojik çalışmalarla kardiyovasküler hastalıkları, çeşitli kanser tiplerini ve yaşa bağlı olarak gelişen hastalıkları engelleyici etkilerinin olduğu saptanmıştır. Tahıllarda bulunan fenolik bileşiklerin de dahil olmak üzere antioksidanların, ısıl işlemler sırasında bozulma nedeniyle azaldığı varsayılmaktadır. Bununla birlikte, yapılan son araştırmalar, bazı fenolik bileşikler daha biyoerişilebilir hale getiren yoğun ısı nedeniyle pişirmenin toplam fenolik asit ve ferulik asit seviyelerini artırdığı tespit edilmiştir (Khlestkina, 2013; Liu ve ark., 2013; Angelino ve ark., 2017; Yalçın ve ark., 2018).

Ekşi hamurda bulunan laktik asit varlığı, buğday veya arpa ekmeğinde *in vitro* nişasta hidrolizini azaltmaktadır. Bu durum ekşi hamurun yapısından gelen organik asitlerin nişastayı hidrolize eden enzimlerin çalışmasını engellemesiyle açıklanmaktadır. Diğer yandan *in vitro* sindirim çalışmalarında da sindirim enzimlerinin belirli asidik ortamlarda çalıştığı da vurgulanmaktadır (Scazzina ve ark., 2009; Wolter, 2013). *In vitro* nişasta sindirilebilirliğinin tespiti amaçlanan bir diğer çalışmada, *Lactobacillus plantarum* FST1.7 ile fermente edilen sorgum, teff ve buğday ekmeklerinde tahmin edilen Gİ değerinin azaldığı, nişasta sindirilebilirliğinin, un tipine ve LAB suşlarına bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir (Scazzina ve ark., 2009; Wolter ve ark., 2014). Yapılan farklı bir

çalışmada ise, ekşi mayalı ekmekler, seçilmiş laktik asit bakterileri ve maya starter kültürleri ile sorgum unu kullanılarak hazırlanmış, ekşi mayalı ekmeklerin duyuşsal özellikleri, antioksidan özellikleri ve *in vitro* sindirilebilirliği incelenmiştir. *Pediococcus pentosaceus* SA8 suşu ile üretilen ekşi maya ekmeği, en yüksek genel kabul edilebilirliği göstermiştir. *Weissella confusa* SD8 suşu ile üretilen ekşi maya ekmeğinin en yüksek toplam fenolik ve toplam flavonoid içeriğine sırasıyla 33,08 mg GAE/100 g ve 13,79 mg KE/100 g sahip olduğu belirtilmiştir. Ekşi maya ilavesi ekmeklerin sindirilebilirliğini artırmıştır. Seçilen starter kültürlerinin, sorgumun ekşi maya fermantasyonunda tüketici tarafından kabul edilebilirliğini, antioksidan özelliklerini ve protein sindirilebilirliğini geliştirdiği tespit edilmiştir (Olojede ve ark., 2020). Ekşi maya fermantasyonunun antioksidan kapasitesinde bir artış göstermesinin yanı sıra metanol ile ekstrakte edilmiş fenolik bileşiklerin biyoyararlılığının da arttığı gözlenmiştir. Fenolik asit esterler ve glikozitlerinin hidrolizini düşük pH'ın ortamda mevcut olması desteklemektedir. Farklı laktik asit bakteri suşları, serbest fenoliklerin salınımını artırmada görev almaktadır. *Lactobacillus johnsonii* LA1, *Lactobacillus reuteri* SD2112 ve *Lactobacillus acidophilus* LA-5 kullanıldığında arpa ve yulaf kabuğu tanesi içinde bulunan ferulik asit artışı tespit edilmiştir (Hansen ve ark., 2002; Katina ve ark., 2007; Konopka ve ark., 2014; Angelino ve ark., 2017). *In vitro* antioksidan aktivitenin ekşi maya ekmeğinde maya fermantasyonu ile elde edilen ekmekten daha yüksek olduğu ve pH değerine oldukça bağlı olduğu bildirilmiştir (Lindenmeier ve Hofmann, 2004).

Bilindiği üzere, ekşi hamur fermantasyonuyla maya ve laktik asit bakterileri tarafından aktivasyonu hızlandırılan fitaz enzimi ile fitik asit miktarı azalmaktadır. Böylelikle, buğday ununun mineral biyoyararlılığı artmaktadır (Ertop ve Hayta, 2016). Konu ile ilgili yapılan bir çalışmada, fitat parçalama özelliğine sahip LAB ve maya suşları, İran'ın geleneksel ekşi hamur mayalarından izole edilmiştir. *Saccharomyces cerevisiae*, izole edilmiş suşların besinsel ve teknolojik özelliklerini araştırmak için pozitif bir kontrol suşu olarak kabul edilmiştir. Tanımlanan tüm mikroorganizmalar probiyotik özelliklere dayanarak karakterize edilmiş, beslenme ve teknolojik özellikleri açısından da değerlendirilmiştir. Fonksiyonel özelliklerin fitatın bozulması, antioksidan kapasite, EPS, fenolik bileşik içeriği ve *in vitro* nişasta sindirimi ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Test edilen tüm suşlar arasında en yüksek fitaz enzimi üretim kapasitesi (1,64 Unit/ml) ve en düşük fitat içeriği (17,49 mg/5 g) *Kluyveromyces marxianus*'a ait olduğu belirtilmiştir. Sonuçlara göre, *Kluyveromyces aestuarii* kullanılarak hazırlanan ekmeğ en yüksek gözeneklilik (%70,43) ve en düşük sertliğe (508,71 g) sahiptir (Fekri ve ark., 2020).

## Sonuç

Ekşi mayalı fermente gıdaların gastrointestinal hastalığıdaki ve sağlık üzerine etkilerine dair çok sınırlı *in vitro* sindirim modelleme çalışması mevcuttur. *In vitro* sindirim modellemelerinde ekşi maya fermantasyonu ile üretilen ekmekteki nişasta ve protein öğelerinin sindirilebilirliği ve fenolik bileşik, antioksidan gibi biyoaktif bileşenlerin biyoerişilebilirlikleri açısından irdelenmiştir. Ekmekte biyoaktif bileşenlerin biyoyararlılığını araştıran

çalışmalar özellikle farklı biyo-işleme tekniklerinin uygulanması, ekmekte yararlanılabilen biyoaktif bileşiklerin miktarını artırmak için umut verici stratejiler olacağı düşünülmektedir. Ekşi mayalı ekmeğin gastrointestinal sağlık üzerindeki etkisini belirlemek için daha geniş kapsamlı, *in vitro* ve *in vivo* çalışmaların yapılarak aralarındaki korelasyonun sağlanacağı çalışmalara ihtiyaç olduğu görülmektedir. Kullanılan *in vitro* yöntemler arasındaki önemli farklılıklar, çalışmalardaki sonuçların karşılaştırılmasını engellemekte ve genel bulguların tartışılmasını zorlaştırmaktadır. Bu duruma yönelik de son zamanlarda, gıdaları analiz etmek için statik bir *in vitro* sindirim yönteminin kullanılması birçok çalışma sonucunun karşılaştırılmasına yardımcı olarak daha net sonuçların alınmasını sağlayacaktır.

## Kaynaklar

- Abu-Salem, FM, Mohamed, RK, Gibriel, AY, Rasmy, NM. 2014. Levels of some antinutritional factors in tempeh produced from some legumes and jobbas seeds. *International Sch. Sci. Res. Innov.* 8:296-301.
- Angelino D, Cossu M, Marti A, Zanoletti M, Chiavaroli L, Brighenti F, ... Martini D. 2017. Bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in bread: A review. *Food & Function*, 8(7):2368-2393. doi: 10.1039/c7fo00574a.
- Anson NM, Selinheimo E, Havenaar R, Aura AM, Mattila I, Lehtinen P, Bast A, Poutanen K, Haenen GR. 2009. Bioprocessing of Wheat Bran Improves *in vitro* Bioaccessibility and Colonic Metabolism of Phenolic Compounds. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 57:6148-6155. doi: 10.1021/jf900492h.
- Axel C, Röcker B, Brosnan B, Zannini E, Furey A, Coffey A, Arendt, EK. 2015. Application of *Lactobacillus amylovorus* DSM19280 in gluten-free sourdough bread to improve the microbial shelf life. *Food Microbiology*, 47:36-44. doi: 10.1016/j.fm.2014.10.005.
- Bircan D, Güray CT, Bostan K. 2017. Farklı Yöntemlerle Ekşitilmiş Hamurlardan Ekmek Yapımı Üzerine Çalışmalar. *Aydın Gastronomy*, 1(1):1-8.
- Bove P, Russo P, Capozzi V, Gallone A, Spano G, Fiocco D. 2013. *Lactobacillus plantarum* passage through an oro-gastro-intestinal tract simulator: Carrier matrix effect and transcriptional analysis of genes associated to stress and probiosis. *Microbiological Research*, 168(6):351-359. doi:10.1016/j.micres.2013.01.004.
- Boz H, Karaoğlu MM. 2008. Fırın Ürünleri İçin Doğal Katkı Maddeleri. *Gıda Mühendisliği Dergisi*, 35:57-64.
- Brandt MJ. 2014. Starter cultures for cereal based foods. *Food Microbiology*, 37:41-43. doi: 10.1016/j.fm.2013.06.007.
- Brodkorb A, Egger L, Alming M, Alvito P, Assunção R, Ballance S, Clemente A. 2019. Infogest static *in vitro* simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, 14(4):991. doi: 10.1038/s41596-018-0119-1.
- Capozzi V, Russo P, Dueñas MT, Lopez P, Spano G. 2012. Lactic acid bacteria producing B-group vitamins: A great potential for functional cereal products. *Appl Microbiol Biotechnol.*, 96:1383-1394. doi:10.1007/s00253-012-4440-2.
- Catzeddu P. 2019. Sourdough Bread. In: Preedy, VR, Watson, RR (editors). *Flour and breads and their fortification in health and disease prevention*. Academic press. pp.177-187. ISBN 978-0-12-814639-2.
- Coda R, Rizzello CG, Gobbetti M. 2010. Use of sourdough fermentation and pseudo-cereals and leguminous flours for the making of a functional bread enriched of  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA). *International Journal of Food Microbiol.* 137:236-245. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2009.12.010.
- Coda R, Di Cagno R, Gobbetti M, Rizzello CG. 2014. Sourdough lactic acid bacteria: exploration of non-wheat cereal-based fermentation. *Food Microbiology*, 37:51-58. doi:10.1016/j.fm.2013.06.018.
- Costabile A, Santarelli S, Claus SP, Sanderson J, Hudspith BN, Brostoff J, Ward JL, Lovegrove A, Shewry PR, Jones HE, Whitley AM, Gibson GR. 2014. Effect of breadmaking process on *in vitro* gut microbiota parameters in irritable bowel syndrome. *Plos One*, 9(10):e111225. doi: 10.1371/journal.pone.0111225.
- Curriel JA, Coda R, Centomani I, Summo C, Gobbetti M, Rizzello CG. 2015. Exploitation of the nutritional and functional characteristics of traditional Italian legumes: The potential of sourdough fermentation. *International Journal of Food Microbiology*, 196:51-61. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2014.11.032.
- Derrien M, van Hylckama Vlieg JE. 2015. Fate, activity and impact of ingested bacteria within the human gut microbiota. *Trends in Microbiology*, 23(6):354-366. doi: 10.1016/j.tim.2015.03.002.
- Dimidi E, Cox SR, Rossi M, Whelan K. 2019. Fermented Foods: Definitions and characteristics, impact on the gut microbiota and effects on gastrointestinal health and disease. *Nutrients*, 11(8):1806. doi:10.3390/nu11081806.
- Engström N, Sandberg AS, Scheers N. 2015. Sourdough fermentation of wheat flour does not prevent the interaction of transglutaminase 2 with  $\alpha$ -gliadin or gluten. *Nutrients*, 7(4): 2134-2144. doi:10.3390/nu7042134.
- Erginkaya Z, Kabak B. 2011. *Fermente Gıdalar*. Erkmen, O. (Editör), *Gıda Mikrobiyolojisi*. ISBN: 978-605-4334-02-5. s. 425-437.
- Ertop MH, Hayta M. 2016. Ekşi Hamur Fermantasyonunun Ekmeğin Biyoaktif Bileşenleri ve Biyoyararlanımı Üzerindeki Etkileri. *Gıda*, 41(2), 115-122. doi:10.15237/gida.GD15053.
- Fekri A, Torbati M, Khosrowshahi AY, Shamloo HB, Azadmard-Damirchi S. 2020. Functional effects of phytate-degrading, probiotic lactic acid bacteria and yeast strains isolated from Iranian traditional sourdough on the technological and nutritional properties of whole wheat bread. *Food Chemistry*, 306:125620. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125620.
- Fernández-García E, Carvajal-Lérida I, Pérez-Gálvez A. 2009. *In vitro* bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. *Nutrition Research*, 29(11): 751-60. doi:10.1016/j.nutres.2009.09.016.
- Filannino P, Bai Y, Di Cagno R, Gobbetti M, Gänzle MG. 2015. Metabolism of phenolic compounds by *Lactobacillus* spp. during fermentation of cherry juice and broccoli puree. *Food Microbiology*, 46:272-279. doi:10.1016/j.fm.2014.08.018.
- Galle S, Schwab C, Dal Bello F, Coffey A, Gänzle MG, Arendt EK. 2012. Influence of in-situ synthesized exopolysaccharides on the quality of gluten-free sorghum sourdough bread. *International Journal of Food Microbiology*, 155(3):105-12. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2012.01.009.
- Gobbetti M, Rizzello CG, Di Cagno R, De Angelis M. 2014. How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food Microbiology*, 37:30-40. doi: 10.1016/j.fm.2013.04.012.
- Göçmen D. 2001. Ekşi hamur ve laktik starter kullanımının ekmekte aroma oluşumu üzerine etkileri. *Gıda*, 26(1):13-16.
- Hansen, HB, Andreassen, M, Nielsen, M, Larsen, L, Knudsen, BK, Meyer, A, Christensen, L. 2002. Changes in dietary fibre, phenolic acids and activity of endogenous enzymes during rye bread-making. *European Food Research and Technology*, 214(1):33-42. doi:10.1007/s00217-001-0417-6.
- Hemery, YM, Anson, NM, Havenaar, R, Haenen, GR, Noort, MW, Rouau, X. 2010. Dry-fractionation of wheat bran increases the bioaccessibility of phenolic acids in breads made from processed bran fractions. *Food Research International*, 43(5):1429-1438. doi: 10.1016/j.foodres.2010.04.013.

- Irakli M, Mygdalia A, Chatzopoulou P, Katsantonis D. 2019. Impact of the combination of sourdough fermentation and hop extract addition on baking properties, antioxidant capacity and phenolics bioaccessibility of rice bran-enhanced bread. *Food Chemistry*, 285:231-239. doi:10.1016/j.foodchem.2019.01.145.
- Kahraman G. 2016. Development of gluten-free bread formulations based on chickpea flour: Optimization of formulation, evaluation of dough properties and bread quality. PhD Thesis. Institute of Technology, İzmir, Turkey, 141p.
- Katina K, Liukkonen KH, Kaukovirta-Norja A, Adlercreutz H, Heinonen SM, Lampi AM, ... Poutanen K. 2007. Fermentation-induced changes in the nutritional value of native or germinated rye. *Journal of Cereal Science*, 46(3):348-355. doi:10.1016/j.jcs.2007.07.006.
- Khlestkina EK. 2013. The adaptive role of flavonoids: emphasis on cereals. *Cereal Res Commun*, 41(2):185-198. doi: 10.1556/CRC.2013.0004.
- Koistinen VM, Nordlund E, Katina K, Mattila I, Poutanen K, Hanhineva K, Aura AM. 2017. Effect of bioprocessing on the *in vitro* colonic microbial metabolism of phenolic acids from rye bran fortified breads. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(9):1854-1864. doi:10.1021/acs.jafc.6b05110.
- Konopka, I, Tańska, M, Faron, A, Czaplicki, S. 2014. Release of free ferulic acid and changes in antioxidant properties during the wheat and rye bread making process. *Food Science and Biotechnology*, 23(3):831-840. doi: 10.1007/s10068-014-0112-6.
- Laatikainen R, Koskenpato J, Hongisto SM, Loponen J, Poussa T, Hillilä M, Korpela R. 2016. Randomised clinical trial: low-FODMAP rye bread vs. regular rye bread to relieve the symptoms of irritable bowel syndrome. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 44(5):460-470. doi:10.1111/apt.13726.
- Laatikainen R, Koskenpato J, Hongisto SM, Loponen J, Poussa T, Huang X, Korpela R. 2017. Pilot study: Comparison of sourdough wheat bread and yeast-fermented wheat bread in individuals with wheat sensitivity and irritable bowel syndrome. *Nutrients*, 9(11):1215. doi:10.3390/nu9111215.
- Li Y, Liu T, Zhao M, Zhong H, Luo W, Feng F. 2019. *In vitro* and *in vivo* investigations of probiotic properties of lactic acid bacteria isolated from Chinese traditional sourdough. *Applied microbiology and biotechnology*, 103(4):1893-1903. doi: 10.1007/s00253-018-9554-8.
- Lindenmeier M, Hofmann T. 2004. Influence of baking conditions and precurs or supplementation on the amounts of the antioxidant pronyl-L-lysine bakery products. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 52:350-4. doi:10.1021/jf0346657.
- Liu Z, Liu Y, Pu Z, Wang J, Zheng Y, Li Y, Wei Y. 2013. Regulation, evolution, and functionality of flavonoids in cereal crops. *Biotechnol Lett*, 35(11):1765-1780. doi: 10.1007/s10529-013-1277-4.
- Lynch KM, Coffey A, Arendt EK. 2018. Exopolysaccharide producing lactic acid bacteria: Their techno-functional role and potential application in gluten-free bread products. *Food Research International*, 110:52-61. doi:10.1016/j.foodres.2017.03.012.
- Mandile, R, Picascia, S, Parrella, C, Camarca, A, Gobbetti, M, Greco, L, ... Auricchio, R. 2017. Lack of immunogenicity of hydrolysed wheat flour in patients with coeliac disease after a short-term oral challenge. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 46(4):440-446. doi:10.1111/apt.14175.
- Marco ML, Heeney D, Binda S, Cifelli CJ, Cotter PD, Foligné B, Smid EJ. 2017. Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44:94-102. doi: 10.1016/j.copbio.2016.11.010.
- Moore MM, Bello FD, Arendt EK. 2008. Sourdough fermented by *Lactobacillus plantarum* FST 1.7 improves the quality and shelf life of gluten-free bread. *European Food Research and Technology*, 226(6):1309-1316. doi: 10.1007/s00217-007-0659-z.
- Novotni D, Čukelj N, Smerdel B, Bituh M, Dujmić F, Čurić D. 2012. Glycemic index and firming kinetics of partially baked frozen gluten-free bread with sourdough. *Journal of Cereal Science*, 55(2):120-125. doi:10.1016/j.jcs.2011.10.008.
- Olojede AO, Sanni AI, Banw K, Adesulu-Dahunsi AT. 2020. Sensory and antioxidant properties and *in vitro* digestibility of gluten-free sourdough made with selected starter cultures. *LWT*, 109576. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109576.
- Östman EM, Nilsson M, Elmståhl HL, Molin G, Björck IME. 2002. On the effect of lactic acid on blood glucose and insulin responses to cereal products: mechanistic studies in healthy subjects and *in vitro*. *Journal of Cereal Science*, 36(3):339-346. doi:10.1006/j.jcs.2002.0469.
- Pallin A, Agback P, Jonsson H, Roos S. 2016. Evaluation of growth, metabolism and production of potentially bioactive components during fermentation of barley with *Lactobacillus reuteri*. *Food Microbiology*, 57:159-171. doi:10.1016/j.fm.2016.02.011.
- Polese B, Nicolai E, Genovese D, Verlezza V, La Sala CN, Aiello M, ... Schiatti A. 2018. Postprandial gastrointestinal function differs after acute administration of sourdough compared with brewer's yeast bakery products in healthy adults. *The Journal of Nutrition*, 148(2): 202-208. doi: 10.1093/jn/nxx049.
- Poutanen K, Flander L, Katina K. 2009. Sourdough and cereal fermentation in a nutritional perspective. *Food Microbiology*, 26(7):693-699. doi:10.1016/j.fm.2009.07.011.
- Rinaldi M, Paciulli M, Caligiani A, Scazzina F, Chiavaro E. 2017. Sourdough fermentation and chestnut flour in gluten-free bread: a shelf life evaluation. *Food Chemistry*, 224:144-152. doi:10.1016/j.foodchem.2016.12.055.
- Rizzello CG, Cassone A, Di Cagno R, Gobbetti M. 2008. Synthesis of angiotensin I-converting enzyme (ACE)-inhibitory peptides and  $\gamma$ -aminobutyric acid (GABA) during sourdough fermentation by selected lactic acid bacteria. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 56: 6936-43. doi:10.1021/jf800512u.
- Rizzello CG, Lorusso A, Montemurro M, Gobbetti M. 2016. Use of sourdough made with quinoa (*Chenopodium quinoa*) flour and autochthonous selected lactic acid bacteria for enhancing the nutritional, textural and sensory features of white bread. *Food Microbiology*, 56:1-13. doi:10.1016/j.fm.2015.11.018.
- Rodriguez-Ramiro I, Brearley CA, Brugggraber SFA, Perfecto A, Shewry P, Fairweather-Tait S. 2017. Assessment of iron bioavailability from different bread making processes using an *in vitro* intestinal cell model. *Food Chemistry*, 228:91-8. doi:10.1016/j.foodchem.2017.01.130.
- Rühmkorf C, Jungkunz S, Wagner M, Vogel RF. 2012. Optimization of homoexopolysaccharide formation by lactobacilli in gluten-free sourdoughs. *Food Microbiology*, 32(2):286-94. doi:10.1016/j.fm.2012.07.002.
- Salazar N, Gueimond M, de los Reyes-Gavilan CG, Ruas-Madiedo P. 2016. Exopolysaccharides produced by lactic acid bacteria and bifidobacteria as fermentable substrates by the intestinal microbiota. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(9):1440-1453. doi:10.1080/10408398.2013.770728.
- Scazzina, F, del Rio, D, Pellegrini, N, Brighenti, F. 2009. Sourdough bread: Starch digestibility and postprandial glycemic response. *Journal of Cereal Science*, 49:419-421. doi:10.1016/j.jcs.2008.12.008
- Schober T, Bean S, Boyle D. 2007. Gluten-free sorghum bread improved by sourdough fermentation: Biochemical, rheological and microstructural background. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 5137-5146. doi: 10.1021/jf0704155.
- Sıklı ÖH, Karapınar M. 2002. Ekşi Maya Ekmeğinin Mikroflorası ve Aromatik Karakteristikleri, Hububat Ürünleri Teknolojisi Kongre ve Sergisi, 3-4 Ekim 2002, Gaziantep, s.165-175.



- Taşdelen E. 2018. Ekzopolisakkarit üreticisi *Lactobacillus plantarum* suşlarının tarhananın kalite özellikleri üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye. 61 s.
- Wolter A. 2013. Fundamental studies of sourdoughs fermented with *Weissella cibaria* and *Lactobacillus plantarum*: Influence on baking characteristics, sensory profiles and *in vitro* starch digestibility of gluten-free breads. PhD Thesis, University College Cork, Ireland. 256 p.
- Wolter A, Hager AS, Zannin E, Arendt EK. 2014. Influence of sourdough on *in vitro* starch digestibility and predicted glycemic indices of gluten-free breads. Food & Function, 5(3):564-572. doi:10.1039/c3fo60505a.
- Yalçın E, Yalçın SK, Karademir E. 2018. Tahıl ve bakliyat esaslı gıdalarda fermantasyon işleminin besinsel özellikler ve biyoaktif bileşenler üzerine etkisi. Gıda, 43(1):163-173. doi:10.15237/gida.335154.
- Yu, L, Beta, T. 2015. Identification and antioxidant properties of phenolic compounds during production of bread from purple wheat grains. Molecules, 20(9):15525-15549. doi:10.3390/molecules200915525.
- Zhang C, Derrien M, Levenez F, Brazeilles R, Ballal SA, Kim J, ... Garrett WS. 2016. Ecological robustness of the gut microbiota in response to ingestion of transient food-borne microbes. The ISME journal, 10(9): 2235-2245. doi:10.1038/ismej.2016.13.