

## TAHİL VE PSEUDO-TAHILLARIN B VİTAMİNLERİ: BİYOERİŞİLEBİLİRLİK VE BİYOYARARLILIKLARI

Erkan Yalçın<sup>\*1</sup>, Hülya Gündüztepe<sup>2</sup>, Ayşenur Arslan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Geliş /Received 26.12.2023; Kabul /Accepted: 25.04.2024; Online baskı /Published online: 07.05.2024

Yalçın, E., Gündüztepe, H., Arslan, A. (2024). Tahıl ve pseudo-tahılların B vitaminleri: Biyoerişilebilirlik ve biyoyararlılıkları. GIDA (2024) 49 (3) 453-465 doi: 10.15237/ gida.GD23146

Yalçın, E., Gündüztepe, H., Arslan, A. (2024). B vitamins of cereal and pseudocereals: Their bioaccessibility and bioavailabilities. GIDA (2024) 49 (3) 453-465 doi: 10.15237/ gida.GD23146

### ÖZ

B vitaminleri, enerji, bağışıklık, sinir sistemi, hücre bölünmesi ve homosistein metabolizmalarında rol oynayan, suda çözünür, organik besinlerdir. Tam tahıllar, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub> vitaminleri bakımından zengindirler. B vitaminleri, tahılların ruşeym, tohum kabuğu ve alöron tabakalarında bulunur. B vitaminlerinin önerilen günlük alım miktarı 0.1-20 mg/gün arasındadır. Tahıl işleme yöntemlerinin vitamin içeriğini etkilediği bildirilmiştir. B vitaminleri yetersiz beslenmenin önlenmesinde başvurulan besin ögeleridir. Biyoerişilebilirlik, sindirim sisteminde, gıdadan enzim hidrolizi ile salınan bir besin maddesinin ince bağırsakta emilim için hazır bulunmasıdır. Biyoyararlılık, sindirilen gıdalardaki besin ögelerinin ince bağırsak epitel hücrelerinden absorbe edildikten sonra kan dolaşımına geçmesidir. Kinoa, amarant ve karabuğday glutensiz pseudo-tahıllardır. Pseudo-tahılların B vitamini miktarı bakımından iyi bir kaynak olduğu belirtilmiştir. Tahıl ürünlerinin B vitaminleri bakımından zenginleştirilmesi için fortifikasyon işlemi uygulanmaktadır. Biyofortifikasyon, tahılların B vitamini içeriklerinin artırılması için son yıllarda uygulanan yeni bir yöntemdir. Bu derlemenin amacı, tahıl ve pseudo-tahıllarda bulunan B vitaminlerinin biyoerişilebilirliği ve biyoyararlılığını son bilimsel çalışmalara göre incelemektir.

**Anahtar kelimeler:** Tahıl, pseudo-tahıl, B vitaminleri, biyoerişilebilirlik, biyoyararlılık

## B VITAMINS OF CEREAL AND PSEUDOCEREALS: THEIR BIOACCESSIBILITY AND BIOAVAILABILITIES

### ABSTRACT

B vitamins, which are water soluble, organic nutrients, play roles in energy, immunity, neural system, cell division and homocystein metabolisms. Wholegrain cereals are rich of B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub> vitamins. B vitamins are available in the germ, seed coat and aleurone layers of cereals. Recommended dietary allowance of B vitamins are in the range of 0.1-20 mg/day. It is reported that cereal processing methods influence the vitamin contents of cereals. B vitamins are referred nutrient compounds in the prevention of malnutrition. Bioaccessibility is defined as releasing of nutrient from the food matrix with enzyme hydrolysis in the gastrointestinal system and available in small intestine to be absorbed. Bioavailability is defined as transportation of nutrients liberated from foods through the

\*Yazışmalardan sorumlu yazar / Corresponding author;

✉: yalcin\_e@ibu.edu.tr

☎: (+90) 374 253 4640 / 5832

☎: (+90) 374 253 4558

Erkan Yalçın; ORCID No: 0000-0002-7417-9088

Hülya Gündüztepe; ORCID No: 0000-0001-9554-5668

Ayşenur Arslan; ORCID No: 0000-0003-1658-746X

blood stream after absorption from the epithelial cells of small intestine. Quinoa, amaranth and buckwheat are gluten-free pseudocereals. It was indicated that pseudocereals are good sources in terms of B vitamin contents. Cereal products are fortified for enrichment of B vitamins. Biofortification is a new method practiced recently in order to increase B vitamin contents of cereals. The aim of this review is to investigate bioaccessibility and bioavailability of B vitamins available in cereal and pseudocereals according to recent scientific works.

**Keywords:** Cereal, pseudocereal, B vitamins, bioaccessibility, bioavailability

## GİRİŞ

Vitaminler, büyüme ve gelişme, metabolizma, üreme ve genel sağlık memnuniyeti için gerekli mikro besin öğeleridir. Vitaminler çözünürlüklerine göre ikiye ayrılırlar: yağda çözünen vitaminler (A, D, E, K vitaminleri) ve suda çözünen vitaminler (B ve C vitaminleri). B vitamini grubunda, tiamin (B<sub>1</sub>), riboflavin (B<sub>2</sub>), niasin (B<sub>3</sub>), pantotenik asit (B<sub>5</sub>), pridoksin/pridoksal/pridoksamin (B<sub>6</sub>), biyotin (B<sub>7</sub>), folat/folik asit (B<sub>9</sub>) ve kobalamin/siyanokobalamin (B<sub>12</sub>) olmak üzere 8 farklı vitamin bulunduğu bildirilmiştir. Beslenme ile vitaminlerin alımı çok önemlidir, çünkü D ve B<sub>1</sub> vitaminleri dışında diğerlerini insanların sentezleyemediği, bitkilerin ise B<sub>12</sub> vitamini dışında diğer B vitaminlerini sentezleyebildiği bildirilmiştir. Ayrıca, aynı B vitamini grubunda yapısal olarak birbirine benzeyen ve aynı vitamin aktivitesini gösterenlere ise vitamer denilmiştir, örneğin tiamin difosfat, tiamin vitamininin vitamer bileşiğidir. Bazı B vitaminleri, enzimin biyolojik olarak aktif formu olan apoenzime bağlanarak holoenzim oluşturmak suretiyle koenzim görevi gördüğü açıklanmıştır. Kimyasal olarak birbirine benzemeyen B vitaminlerinin katabolik ve anabolik reaksiyonlarda koenzim olarak işlevlerinin olduğu bildirilmiştir. Örneğin, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> ve B<sub>5</sub> vitaminlerinin özellikle aktif formlarının hücrel enerji üretiminde temel koenzimler olduğu, sitrik asit döngüsünde ve elektron taşıma zincirinde doğrudan rollerinin bulunduğu belirtilmiştir. B<sub>6</sub> vitamininin beyin gelişimi ve fonksiyonlarında, B<sub>9</sub> vitamininin kırmızı kan hücreleri ve yeni hücrelerin yapımında ve B<sub>3</sub> vitamininin ise sindirim sisteminde, deri ve sinir sistemi sağlığında etkili olduğu açıklanmıştır (Kerns vd., 2015; Lindschinger vd., 2019; Fitzpatrick ve Chapman, 2020; Yaman vd., 2021; Huda vd., 2021).

Tahıllar, tüm dünyada yaygın ekim alanına sahip, ucuz ve beslenmemize önemli katkıları bulunan gıdalardır. İnsan metabolizmasında gerekli olan enerjinin yarısı tahıllar tarafından karşılandığı bildirilmiştir. Dünyada ve ülkemizde en çok tüketilen tahıllar buğday, mısır, pirinç, arpa, çavdar ve yulaftır. Bu tahılların, insan sağlığı için önemli vitamin ve mineralleri içerdikleri belirtilmiştir. Tam tahılların, A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub>, E ve K vitaminleri bakımından zengin fakat B<sub>12</sub>, C ve D vitaminlerini içermedikleri gösterilmiştir. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub> ve B<sub>9</sub> vitamini eksikliklerinin sırasıyla beriberi, kalp yetmezliği, pellegra, fiziksel koordinasyonsuzluk, sinirsel rahatsızlık ve megaloblastik anemi hastalıklarına sebep olduğu ifade edilmiştir. B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub> ve B<sub>12</sub> vitamin eksikliği ile depresyon, anksiyete ve stres arasında bağlantı tespit edilmiştir. B vitaminlerinin önerilen günlük alım miktarı (*Recommended Dietary Allowance, RDA veya Recommended Daily Intake, RDI*) 0.1-20.0 mg/gün arasında değiştiği bildirilmiştir (Vega-Gálvez vd., 2010; Onyambu vd., 2021; Garg vd., 2021).

Tahılların B vitamini içeriğinin çeşit, ekim yeri, hasat zamanı, depolama yöntemi ve işleme yöntemine (öğütme, parlatma, patlatma) bağlı olarak değiştiği bildirilmiştir. B vitaminleri tahılların başlıca ruçeym, tohum kabuğu ve alöron tabakalarında bulunduğu belirtilmiştir (Onyambu vd., 2021). Tahıllar, tam tane veya öğütülerek tüketilirler. Valsli değirmende öğütme ile rafine un üretiminde vitamin içeriğinin önemli ölçüde azaldığı (%50-90) bildirilmiştir (Garg vd., 2021).

B vitaminlerinin ayrıca, yetersiz beslenmede (gizli açlıkta) başvurulan önemli besin öğeleri olduğu ifade edilmiştir. “Gizli açlık”, kalori alımı bakımından yeterli fakat zihinsel ve fiziksel gelişme için gerekli vitamin ve/veya minerallerin eksikliğinden kaynaklanan yetersiz beslenmedir (Acar vd., 2023). Yetersiz beslenmenin, dünyada

iki milyardan fazla insanı etkilediği, özellikle gelişmekte olan ülkelerdeki kadın ve çocukları daha fazla etkileyerek alarm verdiği bildirilmiştir (Onyambu vd., 2021).

Tahıl unlarının genellikle B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> ve B<sub>9</sub> vitaminleri ile bilerek zenginleştirilmesi veya güçlendirilmesine fortifikasyon denilmektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nin Gıda ve İlaç İdaresi (USA Food and Drug Administration, FDA), buğday ununun besin kalitesinin artırılması için B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> ve B<sub>9</sub> vitaminleri ile zenginleştirilmesini sırasıyla 6.4 mg/kg, 3.9 mg/kg, 52.9 mg/kg ve 1.5 mg/kg olarak tavsiye etmiştir. Tahıl ürünlerinde maya kullanımının, B<sub>9</sub> vitamini miktarını artırdığı da bildirilmiştir (Garg vd., 2021). Biyofortifikasyon ise, vitamin ve mineral bakımından zengin tahıl ürünlerinin yetiştirilmesi için tarlada uygulanan, sürdürülebilir, yeni bir yaklaşımdır. Biyofortifikasyonun, tahılların mikro besin ögesi eksikliğini gidererek gizli açlığın önlenmesinde önemli bir yöntem olduğu bildirilmiştir. Biyofortifikasyonun, zirai uygulamalar, konvansiyonel bitki ıslahı, genetik mühendisliği ve modern biyoteknolojik uygulamalar ile yapılabileceği ifade edilmiştir. Biyofortifiye edilmiş tahıl bir kez geliştirildiğinde uzun yıllar ekilebileceği ve böylece gıdaların mikro besin ögesi miktarı bakımından sürekliliğinin sağlanabileceği belirtilmiştir (Garg vd., 2018; Onyambu vd., 2021; Acar vd., 2023). Bu derlemenin amacı, tahıl ve pseudo-tahıllarda bulunan B vitaminlerinin biyoerişilebilirliği ve biyoyararlılığını son bilimsel çalışmalara göre incelemektir.

### B VİTAMİNLERİ

#### Tiamin (B<sub>1</sub> Vitamini)

B<sub>1</sub> vitamininin, biyolojik dokularda, tiamin monofosfat (TMP), tiamin difosfat (TDP) veya tiamin pirofosfat (TPP), tiamin trifosfat (TTP) vitamerleri halinde ve serbest formda bulunduğu bildirilmiştir. Canlı dokularda, tiaminin %90'dan fazlasının fosforlanmış formda yani TPP olarak bulunduğu, bağırsak lümeninde alkalın fosfataz gibi farklı fosfatazlar tarafından serbest tiamine hidrolize edildiği ifade edilmiştir (Ball, 2006; Hrubša vd., 2022). Tiamin emiliminin, ince bağırsağın özellikle jejunum bölgesinde

gerçekleştiği belirtilmiştir. B<sub>1</sub> vitamininin emiliminin, ortamdaki konsantrasyonuna bağlı olarak aktif veya pasif formda olduğu, 5 mg/gün'den az olduğunda, Na<sup>+</sup> iyonuna bağlı olarak, aktif taşıma yoluyla kolayca emilebildiği açıklanmıştır. Başlıca aktif form olan TDP'nin vücutta ince bağırsak mukozasında, karaciğerde ve böbrekte fosforilasyona uğradığı belirtilmiştir (Demir vd., 2023). Tiaminazlar ve polifenolik bileşiklerin, anti-tiamin faktörleri olduğu ve sindirim sisteminde biyoyararlılığı azalttığı söylenmiştir. Tiamin eksikliğinde, karbonhidrat metabolizmasının bozulduğu, kas ve sinir sisteminin etkilendiği, Wernick-Korsakoff sendromunun ve beriberi hastalığının görüldüğü belirtilmiştir (Yaman vd., 2021). Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde tiaminin önerilen günlük alım miktarı, kadınlarda 1.1 mg/gün ve erkeklerde 1.2 mg/gün olarak belirlenmiştir (Kennedy, 2016; Yaman, 2019).

#### Riboflavin (B<sub>2</sub> Vitamini)

Gıdalarda serbest, organizmada koenzim flavin mononükleotit (FMN) ve flavin adeninükleotit (FAD) olmak üzere 2 farklı formda bulunduğu bildirilmiştir. Sindirim sisteminde, FMN ve FAD'ın fosfatazlar tarafından hidrolize edilerek, serbest riboflavinin ince bağırsağın mukozal (epitel) hücrelerinden absorbe edildiği gösterilmiştir. Safra tuzlarının, riboflavinin absorpsiyonunu iki şekilde artırdığı söylenmiştir: Birincisi, safra tuzlarının ince bağırsakta riboflavinin çözünürlüğünü artırarak fırça kenarlı hücrelerden riboflavinin geçişini sağladığı; ikincisinin ise safra tuzlarının gastrik boşalmayı geciktirerek ince bağırsakta FMN ve FAD'ın riboflavine defosforilasyonu için gereken zamanı sağlayarak artırdığı bildirilmiştir. Önerilen günlük B<sub>2</sub> vitamini alım miktarının kadınlarda 1.1 mg/gün ve erkeklerde 1.3 mg/gün olduğu, depolanmadığı için fazla alındığında toksisite etkisinin gözlemlenmediği, idrarla atıldığı ifade edilmiştir (Suwannasom vd., 2020; Yaman vd., 2021).

#### Niasin (B<sub>3</sub> Vitamini)

Gıdalardaki nikotinamid ve nikotinic asitin toplamı niasin olarak ifade edilir ve nikotinamid bir koenzim olarak nikotinamid adeninükleotid (NAD) ve nikotinamid

adenininükleotid fosfat (NADP) vitameneri halinde canlı hücrelerde bulunduğu bildirilmiştir (Yaman vd., 2021). NAD ve NADP'nin, hücrelerdeki redoks reaksiyonlarında önemli koenzimler olarak görev yaptıkları belirtilmiştir. NAD'nin, elektronlarını elektron taşıma zincirinde oksijene aktardığı, NADP'nin ise amino asitlerin, yağ asitlerinin ve pentoz şekerlerin biyosentezinde indirgeyici molekül olarak görev yaptığı açıklanmıştır (Kurek vd., 2017). Vitaminin nikotinik asit formunun tahıllarda polisakkaritlere ve glikopeptitlere bağlı olduğu ve emilmeden önce serbest hale getirilmesi gerektiği bildirilmiş ve moleküldeki bağların bir kısmının mide özsuğu tarafından hidrolize edilerek, aktif forma dönüştürüldüğü ifade edilmiştir. Nikotinik asit ve nikotinamidin biyoerişilebilirliği ve biyoyararlılığının aynı olmadığı; nikotinamidin, nikotinik aside göre daha fazla biyoerişilebilirliğe sahip olduğu belirtilmiştir (Ball, 2006). Önerilen günlük B<sub>3</sub> vitamini alım miktarının kadınlarda 14.0 mg/gün ve erkeklerde 16.0 mg/gün olduğu bildirilmiştir (Kennedy, 2016; Mikkelsen ve Apostolopoulos, 2019; Yaman vd., 2021).

#### **Pantotenik Asit (B<sub>5</sub> Vitamini)**

Koenzim A (CoA) ve açıl taşıyıcı proteinin (ACP) yapısında bağlı formda bulunduğu, ayrıca biyolojik dokularda serbest formda da bulunabileceği gösterilmiştir. Kolesterol sentezi, kortizol hormonu salgılanması ve asetil-CoA'nın sentezinde ve bundan ise beyinde önemli fonksiyonları olan asetil kolin bileşiğinin sentezinde etkin rol oynadığı bildirilmiştir. Gıdalarda bulunduğu gibi bağırsak mikrobiyotasında da sentezlendiği belirtilmiştir. Pantotenik asidin biyoyararlılığının, emilmeden önce, bağırsak lümeninde yapısından CoA'nın ayrılmasını sağlayan enzimlerin aktivitesine bağlı olduğu ve ayrıca bağırsaktaki alkali ortamın pantotenik asidin biyoerişilebilirliğinin azalmasına sebep olabileceği belirtilmiştir. Son yıllarda B<sub>5</sub> vitamininden immün sistem uyarıcısı olarak faydalanılması amacıyla yapılan çalışmaların yaygınlaştığı kaydedilmiştir. Önerilen günlük B<sub>5</sub> vitamini alım miktarı 5.0 mg/gün olarak açıklanmıştır (Ball, 2006; Xu vd., 2020; Yaman vd., 2021; Bourgin vd., 2022; Roy vd., 2023).

#### **Piridoksin/Piridoksal/Pridoksamin (B<sub>6</sub> Vitamini)**

B<sub>6</sub> vitamininin; piridoksin (PN), piridoksal (PL), piridoksamin (PM) ve bunların ilgili 5'-fosfatları (sırasıyla PNP, PLP ve PMP) ve pridoksin glikozit (PNG) olmak üzere yedi adet vitamenden meydana geldiği bildirilmiştir. Hayvan dokularındaki ana formlarının PLP ve PMP, bitkilerde ise genellikle PN ve PNP formlarında olup bazen PNG formunda da bulunduğu belirtilmiştir (Ball, 2006; Etcheverry vd., 2012). PNG formunun bir kısmının bağırsak lümeninde hidrolize edildiği ve bozulmadan emilebildiği, kalan büyük bir kısmının ise hidroliz olmadan idrarla atıldığı gösterilmiştir. PNG formunun biyoyararlılığının, PLP formuna göre daha düşük olduğu açıklanmıştır. B<sub>6</sub> vitamininin biyoyararlılığını azaltan faktörler arasında; gıda işleme yöntemleri, amino asitlerin varlığında meydana gelen reaksiyon ürünleri, besinsel lif tipi ve içeriği ve B<sub>6</sub> glikozitinin varlığının olduğu bildirilmiştir. Doğal olarak meyve, sebze ve tahıl tanelerinde bulunan bir ana form olan PNG'nin, B<sub>6</sub> vitamini kaynağı olarak kullanıldığı ve biyoyararlılığının enzim hidroliz derecesine bağlı olduğu gösterilmiştir. Pridoksin hidroklorit (PN.HCl) ise bebek mamalarında takviye (0.35 mg/100 kcal) amaçlı kullanılan ticari formdur. Önerilen günlük B<sub>6</sub> vitamini alım miktarı 1.3 mg/gün olarak açıklanmıştır (Yaman ve Mızrak, 2019; Mikkelsen ve Apostolopoulos, 2019; Stach vd., 2021; Roy vd., 2023).

#### **Biyotin (B<sub>7</sub> Vitamini)**

Biyotin, önceleri vitamin H veya koenzim-R olarak biliniyordu. Bitkiler, çoğu bakteri ve bazı mantarlar biyotini sentezleyebilirken, memelilerin sentezleyemedikleri görülmüştür, bunun için çeşitli besinler (süt, yumurta, kanatlı etleri, karaciğer, bitkisel gıdalar) ile alınmak zorunda oldukları belirtilmiştir (Carling ve Turner, 2019). Beslenmeyle alınan biyotin ince bağırsakta emildiği, mikrobiyota tarafından üretilen biyotin ise kalın bağırsakta emildiği gösterilmiştir. Biyotin, bazı karboksilazların işlevlerinde koenzim görevi gördüğü, ayrıca gen ekspresyonunu da düzenlediği bildirilmiştir. Biyotin, yetişkinler için önerilen günlük alım miktarının (RDA/RDI) Avrupa Birliği (AB)

ülkelerinde 50 µg/gün, ABD’nde yeterli alım (*Adequate Intake, AI*) miktarının 30 µg/gün olduğu rapor edilmiştir (Carling ve Turner, 2019; Ramamoorthy vd. 2021; Roy vd., 2023).

### Folat/Folik Asit (B<sub>9</sub> Vitamini)

Gıdalardaki folatın, pteroyilglutamik asit formunda bulunduğu ve gıdalardaki başlıca pteroyilglutamatların tetrahidrofolat (THF), 5-metil-THF ve 10-formil-THF olduğu bildirilmiştir. Gıdalarda doğal olarak bulunan folatın protein ve polisakaritlere bağlı olarak bulunduğu belirtilmiştir. Folik asitin ise, vitaminin sentetik formu olduğu ve takviye edicilerde ve fortifiye gıdalarda monoglutamat formunda kullanıldığı ifade edilmiştir. Folat biyoyararlılığının; poliglutamat folatın ince bağırsaktaki dekonjugasyonuna, vitaminin sindirim öncesi ve sindirim sırasındaki stabilitesine, stabilizeye etki eden bileşiklere ve gıda matrisine bağlı olduğu söylenmiştir (Etcheverry vd., 2012). Emiliminin, ince bağırsak mukozasındaki fırça kenarlı hücrelerde bulunan glutamat karboksipeptidaz II enziminin, poliglutamat formunu monoglutamat formuna dekonjugasyonuna veya hidroliz yeteneğine bağlı olduğu bildirilmiştir (Etcheverry vd., 2012). Organik asitlerin (malik, sitrik ve fitik asit) bu enzimin çalışmasını inhibe ettiğini, dolayısıyla poliglutamil folatların biyoyararlanımını azalttığını bildirmişlerdir. Askorbik asitin ise vitaminin biyoerişilebilirliğini artırdığı söylenmiştir. Besinsel liflerin ise folik asitin biyoyararlanımını etkilemediği ifade edilmiştir (Etcheverry vd., 2012). Biyolojik membranlara folat taşınımının; folat reseptörü-α (FRα), protona bağlı folat taşıyıcısı ve indirgenmiş folat taşıyıcısı ile olmak üzere üç yolla başarıldığı belirtilmiştir (Alam vd., 2020). Yetişkin erkek ve kadınlarda önerilen günlük folat alım miktarı 400 µg/gün olarak belirtilmiştir (Kennedy, 2016; Lyon vd., 2020). Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (European Food Safety Authority, EFSA)’ne göre önerilen günlük folat alım miktarı yetişkinlerde 330 µg/gün, hamilelerde 600 µg/gün olarak tanımlanmıştır (Buffière vd., 2021).

### Kobalamin (B<sub>12</sub> Vitamini)

B<sub>12</sub> vitamini, yapısındaki kobalttan dolayı kobalamin olarak adlandırılmıştır. B<sub>12</sub> vitamininin

dokulardaki aktif formlarının 5-deoksiadenozil kobalamin ve metilkobalamin olduğu belirtilmiştir (Ede ve Ayaz, 2016). Diğer B vitaminleri ile kıyaslandığında, önerilen günlük alım miktarı en düşük (2.4 µg/gün) hayvansal kaynaklı elzem bir vitamin olup, ayrıca takviye edilmiş gıdalarda da bulunduğu açıklanmıştır. B<sub>12</sub> vitamini; tek karbon metabolizmasında (metil vericisi) örneğin homosisteinden tekrar metiyoninin meydana getirilmesinde, metiyonin sentaz enziminin koenzimi olarak, DNA sentezinde (DNA nükleotidlerinin metilasyonu), enerji üretim metabolizmasında, eritrosit yapımında ve nörolojik işlevlerde, büyüme ve gelişmenin düzenlenmesinde önemli görevlerinin olduğu belirtilmiştir (Ede ve Ayaz, 2016; Afonso vd., 2023). Besinlerle alınan B<sub>12</sub> vitamini mideye ulaştığında mide asidi ve pepsin ile serbest kaldıktan sonra, tükürük bezlerinden ve mide mukozasından salgılanan R proteini ile birleşen kobalamin, paryetal hücrelerden intrinsik faktörün salınımını uyardığı bildirilmiştir. Daha sonra, ince bağırsağın duodenum bölgesinde pankreatik enzimler ile R proteininden ayrılan kobalamin, intrinsik faktör ile birleştiği ve sonrasında ince bağırsağın ileum bölgesinde intrinsik faktörden ayrılarak transkobalamin-II’ye transfer edilerek, özgül reseptörlerin yardımıyla aktif taşınım ile emildiği ve kan dolaşımına katıldığı bildirilmiştir (Etcheverry vd., 2012; Ede ve Ayaz, 2016; Sezgin, 2019; Afonso vd., 2023).

### TAHILLARIN B VİTAMİNLERİ

Buğdayın, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub> ve B<sub>9</sub> vitaminlerini önemli düzeyde içerdiği, özellikle buğdayın “alöron tabakasının” B<sub>1</sub> ve B<sub>3</sub> vitaminlerine sahip olması sebebiyle besleyici özellikte olduğu bildirilmiştir. Fakat valsli değirmende, kepek ve ruşeymin ayrılması sonucunda rafine buğday ununda B grubu vitaminlerin miktarının azaldığı açıklanmıştır (Zaupá vd., 2014; Tekin vd., 2018). Tekin vd. (2018), 36 einkorn ve 49 emmer kavuzlu buğday hatlarının B vitamini değerleri üzerine yaptıkları bir çalışmada; emmer buğdayı hatlarının ortalama B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub>, ve B<sub>6</sub> vitamini değerlerini sırasıyla ortalama 4.22 mg/kg, 0.36 mg/kg, 3.60 mg/kg ve 2.06 mg/kg olarak bulurken, einkorn buğday hatlarında sırasıyla ortalama 0.80 mg/kg,

0.29 mg/kg, 0.32 mg/kg ve 0.29 mg/kg olarak bulunmuşlardır.

Karakas vd. (2021) buğday çimi ve einkorn (Iza), emmer (Gernik), durum (Kundur-1149) ve ekmeklik buğday (Kıraç-66) örneklerinin B vitaminleri (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>5</sub>, and B<sub>9</sub>) miktarlarını LC-ESI-MS/MS yöntemiyle incelemişlerdir. Buna göre, kavuzlu ata buğdayları ile kavuzsuz modern buğdaylar arasında B vitamini miktarları bakımından önemli farklılığın olduğu tespit edilmiştir. Çalışmaya göre en yüksek B<sub>1</sub> vitamini einkorn buğdayında, en yüksek B<sub>2</sub> vitamini einkorn ve emmer buğdaylarında, en yüksek B<sub>5</sub> vitamini Kıraç-66 buğdayında ve einkorn buğday çiminde tespit edilmiştir. Test edilen buğday çimleri arasında en yüksek B vitamini içeriği einkorn buğday çiminde gözlenmiştir. Araştırmalarında B<sub>2</sub> vitamini tüm buğday çimlerinde, buğday tanesinden daha fazla bulunmuştur.

Liang vd. (2020), 8 ay depoladıkları buğdaydaki folat (THF) miktarında %26 oranında kayıp belirlemişlerdir. Buğdayın, %70 randımanında öğütülmesi ile %71 oranında folat kaybı gözlemlenmiştir. Ürettikleri eriştelelerde, folatı, %78 oranında muhafaza edebilmişlerdir. Ayrıca, maya fermentasyonu ile ürettikleri ekmeklerdeki folat miktarında 1.5-4 kat iyileşme sağlamışlardır.

Arpanın B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> vitaminlerini içerdiği ve arpadaki B vitamini miktarının olgun ve olgunlaşmamış tanelerde farklılık gösterdiği belirtilmiştir. Kavuzsuz arpa tanesi olgunlaştıkça B vitamini miktarının azaldığı açıklanmıştır. Olgun kavuzsuz arpa tanesinde B<sub>1</sub> vitamini miktarı (0.34 mg/100 g), olgunlaşmamış taneden daha fazla (0.26 mg/100 g) bulunmuştur. Fakat B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> vitamini miktarları bakımından farklılık gözlemlendiği, olgunlaşmamış kavuzsuz arpada sırasıyla 0.25 ve 7.11 mg/100 g bulunurken, olgun tanede sırasıyla 0.23 ve 3.95 mg/100 g olarak gözlemlenmiştir. Aynı araştırmacılar, benzer bir durumu tritikale tahılı için de doğrulamışlardır. Olgun ve olgunlaşmamış tritikalede B<sub>1</sub> vitamini miktarı sırasıyla 0.52 ve 0.46 mg/100 g olarak bulunmuştur. Olgun tritikalede B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> vitamini miktarı ise sırasıyla 0.21 ve 3.75 mg/100 g

bulunurken, olgunlaşmamış tritikalede sırasıyla 0.40 ve 7.05 mg/100 g olarak tespit edilmiştir (Petrovska-Avrachenko vd., 2017).

Rybicka ve Gliszczynska-Świgło (2017), glutensiz tahıl ve pseudo-tahıl unlarının B vitaminleri üzerine yaptıkları bir araştırmada, yulaf unundaki B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> ve B<sub>6</sub> vitaminlerinin miktarlarını sırasıyla 0.25 mg/100 g, 0.04 mg/100 g, 0.72 mg/100 g ve 0.10 mg/100 g olarak belirlemişlerdir. Aynı çalışmada, darı ununun B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> ve B<sub>6</sub> vitamini miktarlarını sırasıyla 0.40 mg/100 g, 0.20 mg/100 g, 6.02 mg/100 g ve 0.09 mg/100 g olarak bulunmuşlardır. Bulunan sonuçların gluten içeren tahıllara (buğday, arpa, çavdar) göre benzer veya daha düşük olduğu gösterilmiştir.

Çavdar, tam çavdar unu olarak kullanıldığı için B vitamini içeriği yüksek bir tahıldır. Tam çavdar unu, siyah çavdar unu ve kepeksiz çavdar unu kullanılarak yapılan ekşi mayalı çavdar ekmeklerinde tiamin (B<sub>1</sub>) miktarı %20-45, nikotik asit miktarı %25-50, pridoksal miktarı %45-65 oranında azalmıştır. Kepeksiz çavdar ununda ise riboflavin miktarı %50, piridoksin miktarı %15 oranında azalmıştır. Nikotinamid miktarının, ekşi hamur fermentasyonundaki mikrobiyal aktivite sonucu 10 kat arttığı rapor edilmiştir (Mihhalevski vd., 2013).

Nemeth ve Tömösközi (2021) çavdarda tiamin, riboflavin, niasin, pantotenik asit, pridoksin ve folat miktarlarını sırasıyla 4.0-4.6 mg/kg, 1.8-1.9 mg/kg, 12.0-15.0 mg/kg, 10.0 mg/kg, 3.0-3.4 mg/kg ve 0.48-0.52 mg/kg arasında bildirmiştir. Buğdayda aynı vitaminleri sırasıyla 5.0-12.0 mg/kg, 1.0-3.1 mg/kg, 41.0-64.0 mg/kg, 7.7-9.1 mg/kg, 3.0-4.7 mg/kg ve 0.35-0.56 mg/kg arasında belirtmişlerdir. Arpada söz konusu vitaminleri sırasıyla 2.0-2.6 mg/kg, 0.9-1.0 mg/kg, 45.0-50.0 mg/kg, 3.5 mg/kg, 3.0-3.2 mg/kg ve 0.19-0.25 mg/kg arasında açıklamışlardır. Tritikalede aynı vitaminleri sırasıyla 3.8-9.8 mg/kg, 1.3 mg/kg, 29.0 mg/kg, 6.5-8.8 mg/kg, 4.0 mg/kg ve 0.7 mg/kg olarak bildirmişlerdir. Yulafda ise sırasıyla 5.0-8.0 mg/kg, 1.0-1.4 mg/kg, 9.6-16.0 mg/kg, 13.4 mg/kg, 2.0-2.4 mg/kg ve 0.45-0.60 mg/kg olarak açıklamışlardır.

Roy vd. (2023) 309 adet *indica* yerli pirinç çeşitlerindeki B vitamini miktarlarını modern pirinç çeşitleri ile karşılaştırmıştır. Buna göre, yerli pirinç çeşitlerinin dikkate değer ölçüde B vitamini içerdiğini gözlemlemişlerdir. Yerli *indica* pirinç çeşitlerindeki B<sub>1</sub> vitamini miktarını 0.01-10.55 mg/100 g, B<sub>2</sub> vitaminini 0.01-2.63 mg/100 g, B<sub>3</sub> vitaminini 0.20-4.52 mg/100 g, B<sub>5</sub> vitaminini 0.01-18.55 mg/100 g, B<sub>6</sub> vitaminini 0.01-0.86 mg/100 g ve B<sub>7</sub> vitaminini 0.01-5.90 mg/100 g arasında belirlemişlerdir. Araştırmalarında, modern pirinç çeşitlerindeki B vitamini miktarlarının önemli düzeyde düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.

### **PSEUDO-TAHILLARIN B VİTAMİNLERİ**

Pseudo-tahıllar, tahıl benzeri glutensiz bitki tohumlarıdır. Kinoa, amarant ve karabuğday pseudo-tahıl grubunu oluşturduğu bildirilmiştir. Pseudo-tahılların, protein kalitesi ve miktarı, esansiyel yağ asitleri, vitamin ve mineral madde miktarının yüksek olduğu açıklanmıştır (Bock vd., 2021).

Karabuğdayın, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub> ve B<sub>9</sub> vitaminlerini diğer tahıllara göre daha fazla içerdiği belirtilmiştir. Karabuğdaydaki tiaminin, tiamin bağlayıcı proteine sıkı bir şekilde bağlandığı bildirilmiştir. Karabuğdayın çimlendirilmesi ile C, B<sub>1</sub> ve B<sub>6</sub> vitamini içeriğinin artırılabilceği ifade edilmiştir (Rodriguez vd., 2020; Huda vd., 2021). Joshi vd. (2019) karabuğdaydaki tiamin, riboflavin, niasin, pantotenik asit ve kolin miktarlarını sırasıyla 3.3 mg/100 g, 10.6 mg/100 g, 18.0 mg/100 g, 11.0 mg/100 g ve 440.0 mg/100 g olarak bildirmişlerdir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin Ulusal Bilimler Akademisi (United States National Academy of Sciences), amarantın yüksek besinsel kalitesini ve potansiyel tarımsal özelliklerini açığa çıkarmasından sonra amarant, gıda teknolojilerinin ilgisini çekmeye başlamıştır. Amarantın tohum ve yapraklarının B grubu vitaminler açısından oldukça zengin olduğu belirtilmiştir. Amarantın, tiamin (0.07-0.10 mg/100 g un), riboflavin (0.19-0.23 mg/100 g un), niasin (1.17-1.45 mg/100 g un) ve askorbik asit (4.5 mg/100 g un) gibi suda çözünen

vitaminler bakımından iyi bir kaynak olduğu gösterilmiştir (Rodriguez vd., 2020). Murakami vd. (2014), amarant tohumlarına 260°C'de patlatma işlemi uygulayarak B vitamini içeriğindeki değişimi araştırmışlardır. Buna göre, işlem uygulanmamış amarant tohumlarında B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub> ve B<sub>9</sub> vitamini miktarları sırasıyla 147.0 µg/100 g, 3.230 µg/100 g, 1.150 µg/100 g, 454.0 µg/100 g, 24.8 µg/100 g, 152.0 µg/100 g olarak tespit edilmiştir. İşlem uygulanmış amarant tohumlarında ise aynı vitamin miktarları sırasıyla 140.0 µg/100 g, 3.080 µg/100 g, 991.0 µg/100 g, 408.0 µg/100 g, 25.2 µg/100 g, 137.0 µg/100 g olarak bulunmuştur. Çalışmada, uygulanan işlemin B vitamini içeriğini önemli düzeyde etkilemediği rapor edilmiştir.

Kinoanın, birçok bitkinin yetişemeyeceği marjinal ekolojik koşullarda yetişebilen, abiyotik stress koşullarına (tuzlu toprak, kurak ve soğuk iklimler, yüksek sıcaklık farkı örneğin -8°C'den +35°C'ye sıcaklığın yükselmesi) dayanıklı, glutensiz, düşük glikemik indekse ve yüksek besinsel kaliteye sahip bir pseudo-tahıl olduğu bildirilmiştir. Kinoada B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub> ve B<sub>6</sub> vitamin miktarlarının 0.21-1.70 mg/kg arasında değiştiği, B<sub>7</sub> ve B<sub>9</sub> vitamini miktarlarının ise sırasıyla 0.62 µg/kg ve 1.73 µg/kg olduğu açıklanmıştır (Rodriguez vd., 2020).

### **B VİTAMİNLERİNİN BİYOERİŞİLEBİLİRLİĞİ VE BİYOYARARLANIMLARI**

Biyoeişilebilirlik, sindirim sisteminde gıda matrisinden asidik koşullarda ve enzim hidrolizi ile salınan bir besin maddesinin ince bağırsakta emilim için hazır bulunmasıdır (Garg vd., 2021; López-Gámez vd., 2021). Sindirim sisteminde bulunan suda çözünen vitaminlerin biyoeişilebilirliğinin, pH'ya, sıcaklığa, polipeptit, polisakkarit, metal iyonları ve enzim inhibitörlerinin varlığına, besinsel lif miktarına ve öğütme yöntemine bağlı olduğu bildirilmiştir (Yaman vd., 2021). Biyoeişilebilirliği ayrıca, gıdanın tipi ve matrisi, vitaminin çeşidi, hasat sonrası depolama, işleme ve ambalajlama yöntemleri gibi faktörlerin de etkilediği ifade edilmiştir (Onyambu vd., 2021; Garg vd., 2021; López-Gámez vd., 2021).

Bitkilerde vitaminlerin, besin dokusunda kompleks halde bulunduğu ve absorpsiyonları için dokunun parçalanarak biyoerişilebilirliğinin artırılması gerektiği bildirilmiştir. Besinsel liflerin ise sindirim sisteminde çok fazla suyu absorbe etmelerinden dolayı, sindirimi ve absorpsiyonu yavaşlattığı, B vitaminlerinin biyoerişilebilirliğini azalttığı söylenmiştir. Tahıl içeren bebek gıdalarındaki B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub> vitaminlerinin ortalama biyoerişilebilirliği sırasıyla %81, %79, %45, %60, %52 olarak verilmiştir. Biyoerişilebilirliğin, tahıl ürünlerindeki vitaminlerin sağlık etkilerinin tahmin edilmesinde önemli olduğu belirtilmiştir (Akça vd., 2019; Onyambu vd., 2021; Garg vd, 2021).

Biyoyararlılık, sindirilen gıdalardaki besin öğelerinin ince bağırsak epitel hücrelerinden absorbe edildikten sonra kan dolaşımına geçmesi olarak tanımlanmıştır. Gıda matrisi, gıda işleme yöntemi ve sindirilme oranı başta olmak üzere birçok faktör biyoyararlılığı etkilediği bildirilmiştir. Makro ve mikro besin öğelerinin vücuttaki absorpsiyon verimliliği, gıdanın kolay bir şekilde sindirilebilme kabiliyetine bağlı olduğu kaydedilmiştir. Sindirilme oranı yüksek bir gıda sağlıklı bir gıdadır ve organizmanın sağlık ve enerji durumunu iyileştirdiği söylenmiştir (Rodriguez vd., 2020).

Suda çözünen vitaminler, ince bağırsakta, yağda eriyen vitaminler gibi misel oluşturmak yerine, aktif taşınım ile direkt emilirler ve ayrıca ışık, sıcaklık, ortam pH'sına oldukça duyarlı olduklarından, besinlerin vitamin içeriklerinde önemli ölçüde kayıplar olabileceği belirtilmiştir. Aynı zamanda, suda çözünen vitaminlerin, özellikle B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>6</sub> vitaminlerinin, gıdalarda polisakkaritlere ve polipeptitlere kovalent olmayan bağlar ile bağlı olabilecekleri gösterilmiştir. Düşük pH değerlerinde (mide), protein parçalanması daha fazla olacağı için daha çok B<sub>1</sub> ve B<sub>2</sub> vitaminlerinin salınacağı ifade edilmiştir (López-Gómez vd., 2021).

Yaman (2019), farklı ekmek çeşitlerinde (beyaz, tam buğday, kepekli ekmek ve yulafli ekmek) B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>6</sub> vitaminlerinin in vitro ortamda biyoerişilebilirliğini incelediği çalışmasında, B<sub>1</sub>

vitamini için en düşük biyoerişilebilirliği yulaf ekmeğinde (%45), en yüksek biyoerişilebilirliği ise tam buğday ekmeğinde (%73) gözlemlemiştir. Yulaf ve arpada bulunan  $\beta$ -glukanın, vitamin ve minerallerin biyoerişilebilirliğini azalttığı kaydedilmiştir. Yaman (2019), B<sub>2</sub> vitamininin biyoerişilebilirliğini en yüksek tam buğday ekmeğinde (%66), en düşük ise yulafli ekmekte (%56) bulmuştur. Araştırmasında, piridoksin (PN), piridoksal (PL), piridoksamın (PM) için biyoerişilebilirliğin %17-82 arasında değiştiğini saptamıştır. En yüksek biyoerişilebilirlik, kepekli ekmekteki PN formunda gözlenmiş olup, en düşük biyoerişilebilirlik ise yulafli ekmekteki PL formunda bulunmuştur. Çalışmada, PL ve PM formlarının düşük biyoerişilebilirliği, bu formların sindirim sırasında proteinlerden ayrılıp tam olarak serbest hale geçememeleri şeklinde açıklanmıştır (Yaman, 2019).

Akça vd. (2019), 13 farklı tahıl içerikli ticari bebek mamalarındaki tiamin, riboflavin, nikotinik asit ve nikotinamidin ortalama biyoerişilebilirliğini in vitro koşullarda ve gastrik pH 1.5'da sırasıyla %81, %79, %39 ve %51 olarak, gastrik pH 4'te ise aynı vitaminlerin ortalama biyoerişilebilirliğini sırasıyla %65, %67, %33 ve %41 olarak tespit etmişlerdir. Araştırmalarında, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> vitaminlerinin biyoerişilebilirliklerinin stabilite, sıcaklık, gastrik pH değeri, besinsel lif içeriği, polisakkarit ve polipeptitlere bağlanma durumundan önemli derecede etkilenebileceği aktarılmıştır. Sonuç olarak suda çözünür vitaminlerin biyoerişilebilirliğinin in vivo koşullarda daha düşük olabileceği bildirilmiştir.

Färçaş vd. (2022) farklı bira üretimlerinden gelen biracılık artığı küspeleri ile oluşturdukları 4 farklı biracılık artığı küspesinin in vitro sindirimi sonucunda, B vitaminlerindeki (B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>) değişimi incelemişlerdir. Buna göre, in vitro sindirimden sonra her bir biracılık artığı küspesindeki B vitaminlerinin kontrole göre azaldığı tespit edilmiştir. B<sub>1</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub> vitaminleri için ulaşılan en yüksek biyoerişilebilirlik değerleri sırasıyla %72.45, %68.44, %52.94 ve %83.57 olarak bulunmuştur.



Bitkisel kaynaklı gıdalarda bulunan B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>3</sub> vitaminlerinin biyoerişilebilirlik ve biyoyararlılığının, düşük protein sindirilirliği ve yüksek besinsel lif içeriği sebebiyle genellikle azaldığı aktarılmıştır (Akça vd., 2019; Demir vd., 2023). Kurek vd. (2017), farklı boyutlardaki besinsel lif partikülleri ilave ederek yapmış oldukları buğday ekmeklerinde, tiamin, riboflavin ve niasin vitaminlerinin biyoerişilebilirliğini sırasıyla %69.1-91.2, %40.9-50.2 ve %60.2-70.2 arasında tespit etmişlerdir. Optimum biyoerişilebilirlik için besinsel lif miktarı ve partikül boyutunu sırasıyla %6.17 ve 124.12 µm olarak belirtmişlerdir. Besinsel lifin partikül boyutunun küçültülmesiyle, daha fazla hidroksil grubunun ortaya çıkması ve bunların B vitaminleri ile etkileşime girerek biyoerişilebilirliği azalttığı rapor edilmiştir.

Çatak (2019), 10'ar farklı hayvansal ve bitkisel gıdada yaptığı bir çalışmada, nikotinic asit ve nikotinamid miktarları toplamında (mg/100 g), hayvansal gıdalardaki ortalama oranları sırasıyla %30 ve %70, bitkisel gıdalardaki ortalama oranları sırasıyla %87 ve %13 olarak tespit etmiştir. Araştırmasında, nikotinic asit miktarını yulafta 1.025 mg/100 g, çavdarda 4.168 mg/100 g, arpada 4.523 mg/100 g, pirinçte 1.767 mg/100 g, ekmeklik buğdayda 5.483 mg/100 g ve durum buğdayında 6.668 mg/100 g olarak bulmuş ve aynı tahıllarda nikotinamid formuna rastlamamıştır.

Zaupn vd. (2014), in vitro koşullarda makarnalık durum buğdayının kepek ve alöron tabakasının iç ve dış kısımlarını ve ayrıca bu kısımlardan hazırladıkları mikronize iç ve dış alöron kısımlarındaki tiamin ve niasin vitaminlerinin biyoerişilebilirliği üzerine yaptıkları çalışmada, bu fraksiyonlardaki tiamin vitamininin miktarını ve biyoerişilebilirliğini sırasıyla 4.44-27.84 mg/100 g ve %62.64-99.42 arasında, niasin vitamininin ise sırasıyla 14.15-21.86 mg/100 g ve %10.61-55.94 arasında bulmuşlardır. Sonuç olarak partikül boyutunun küçülmesi ile biyoerişilebilirliğin de genellikle arttığını ve buğdayın alöron tabakasının iç kısmındaki tiamin ve niasinin biyoerişilebilirliğinin en yüksek olduğunu göstermişlerdir.

B<sub>6</sub> vitamininin proteinlere kovalent olmayan bağ ile bağlı olduğu ve B<sub>6</sub> vitamininin proteinlerden ayrılmasının gastrik ve ince bağırsak pH'sına bağlı olduğu aktarılmıştır. Bununla birlikte, PLP formunun biyoerişilebilirlik düzeyinin gastrik ve ince bağırsak asitliğine göre değiştiği bildirilmiştir (Ball, 2006). Bebeklerdeki yüksek gastrik pH'nın, PLP formunun biyoerişilebilirliğini büyük bir olasılıkla etkilediği ifade edilmiştir (Yaman ve Mızrak, 2019). On üç farklı tahıl içerikli bebek mamasında B<sub>6</sub> vitamininin in vitro biyoerişilebilirliği üzerine yapılan bir çalışmada, PL ve PM'nin biyoerişilebilirliğinin gastrik pH 1.5 ve 4.0'te PN'den daha düşük ve birbirine benzer olduğu gözlemlenmiştir. Tüm formların biyoerişilebilirliğinin gastrik pH 4'te azaldığı fakat her iki gastrik pH'da düşük olduğu tespit edilmiştir (Yaman ve Mızrak, 2019).

Yaşlılarda, B<sub>6</sub> ve B<sub>12</sub> vitamin eksikliği sık karşılaşılan bir durumdur ve sırasıyla kardiyovasküler hastalıklar ve megaloblastik anemi ile bağlantılı olduğu açıklanmıştır. Lee vd. (2022), B<sub>12</sub> vitamininin, bağırsak mikrobiyotası tarafından in vitro sindiriminin yaşlılarda (%45.08), yetişkinlere (%35.96) göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. B<sub>6</sub> ve B<sub>12</sub> vitaminlerinin biyoaktivitesinin yaş, sindirim yeri ve bağırsak mikrobiyotasından etkilendiğini, özellikle bağırsak mikrobiyotasının etkili olduğunu rapor etmişlerdir.

Gıda matrisinin, plazmadaki folat biyoyararlılığını değiştirdiği açıklanmıştır. Bir çalışmada en yüksek biyoyararlılık pudingte belirlenirken, pandispanya kekinde daha az oranda tespit edilmiştir. Krem karamel ve bisküvide folat biyoyararlılığı en düşük düzeyde bulunmuştur (Buffière vd., 2021). Neves vd. (2019), folik asit ile fortifiye edilmiş buğday unundan üretilmiş Fransız tipi ekmeklerin, folik asitin biyoerişilebilirliği ve biyoyararlanımının artırılmasında iyi bir araç olduğunu açıklamışlardır. Araştırmalarında, buğday ununun homojenize edildikten sonra serbest folik asitin %85'nin buğday ununda kaldığını, Fransız tipi ekmekte ise %75'inin tutulduğunu bildirmişlerdir. Fransız tipi ekmeklerin in vitro sindiriminden

sonra, folik asitin tamamının ince bağırsaklarda absorbe edilmek üzere hazır bulunduğunu keşfetmişlerdir. Bationo vd. (2020), tahıl içerikli fermente gıdalar (7 farklı ürün) üzerine yaptığı çalışmada, fermantasyonun folat içeriğini artırdığını tespit etmişlerdir. Çalışmada, folat biyoerişilebilirliği %23-81 arasında bulunmuş ve bu durumun folat stabilitesinden veya besin matrisinden kaynaklanabileceği belirtilmiştir.

## SONUÇ

Tahıllar ve pseudo-tahıllar, B vitaminleri bakımından zengin gıda kaynaklarıdır. B vitaminlerinin, metabolizmanın düzenlenmesi ve işleyişi bakımından kritik öneme sahip, suda çözünür, organik bileşikler olduğu açıklanmıştır. Günlük beslenmede, yeterli alım miktarlarının tanımlanması ile birlikte, enerji metabolizması ve bağışıklık sistemi için önemli koenzimler olduğu da gösterilmiştir. B vitaminlerinin biyoerişilebilirliği ve biyoyararlılığının belirlenmesinde, genellikle, “in vitro sindirim sistemi modelleri” çalışılmıştır. Bu yöntemin ucuz, hızlı ve deneysel parametrelerin kontrolünün sağlanması bakımından in vivo yöntemlere göre avantajlarının bulunduğu bildirilmiştir. B vitaminlerinin biyoerişilebilirliği, sindirilirliğe ve gıda matrisinden serbest kalmasına bağlıken; biyoyararlılıklarının sindirilirliğe, gıda matrisinden serbest kalmalarına, ince bağırsak hücrelerinden absorpsiyon ve vücut hücrelerine taşınmalarına bağlı olduğu kaydedilmiştir. Tahıl ve pseudo-tahıl ürünlerinde B vitamini fortifikasyonunun bazı ülkelerde zorunlu olduğu ve biyofortifikasyon yönteminin B vitaminleri bakımından zengin tahılların yetiştirilmesinde yeni bir uygulama olduğu gösterilmiştir. Bu derlemede, tahıl ve pseudo-tahılların B vitaminlerinin biyoerişilebilirliği ve biyoyararlılığındaki son çalışmalar incelenmiş olup, in vivo sonuçların in vitro sonuçlar ile doğruluğunun karşılaştırılması için daha fazla doğrulama testlerinin yapılması gerektiği görülmüştür.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Yazarların, başka kişiler ve/veya kurumlar ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## YAZAR KATKILARI

EY, HG ve AA derlemeyi birlikte planlamış, yazmış ve son halini onaylamışlardır.

## KAYNAKLAR

Acar, O., Izydorzcyk, M.S., McMillan, T., Yazici, M.A., Imamoglu, A., Cakmak, I., Koxsel, H. (2023). A research on milling fractions of biofortified and nonbiofortified hull-less oats in terms of minerals, arabinoxylans, and other chemical properties. *Cereal Chemistry*, 100, 1192-1202.

Afonso, C., Cardoso, C., Gomes-Bispo, A., Ferreira, I., Rego, A., Coelho, I., Motta, C., Prates, J.A.M., Castanheria, I., Bandarra, N.M. (2023). Fatty acids, selenium and vitamin B<sub>12</sub> in chub mackerel (*Scomber colias*) as nourishment considering seasonality and bioaccessibility as factors. *Food Chemistry*, 403, 134455.

Akça, S. N., Sargın, H. S., Mızrak, Ö. F., Yaman, M. (2019). Determination and assessment of the bioaccessibility of vitamins B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, and B<sub>3</sub> in commercially available cereal-based baby foods. *Microchemical Journal*, 150, 104192.

Alam, C., Hoque, T., Sangha, V., Bendayan, R. (2020). Nuclear respiratory factor-1 (NRF-1) upregulates the expansion and function of reduced folate carrier (RFC) at the blood-brain barrier. *FASEB Journal*, 10516-10530.

Ball, G. F. M. (2006). *Vitamins in Foods: Analysis, Bioavailability, and Stability*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, ISBN: 9781574448047, Chapter 7-14, pp. 149-285.

Bationo, F., Humblot, C., Songré-Ouattara, L. T., Le Merrer, F. M., Chapron, M., Kariluoto, S., Hemery, Y. M. (2020). Total folate in West African cereal-based fermented foods: bioaccessibility and influence of processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 85, 103309.

Bock, P. D., Daelemans, L., Selis, L., Raes, K., Vermeir, P., Eeckhout, M., Bockstale, F. V. (2021). Comparison of the chemical and technological characteristics of wholemeal flours obtained from amaranth (*Amaranthus sp.*), quinoa (*Chenopodium quinoa*) and buckwheat (*Fagopyrum sp.*) seeds. *Foods*, 10, 651.

- Bourgin, M., Kepp, O., Kroemer, G. (2022). Immunostimulatory effects of vitamin B<sub>5</sub> improve anticancer immunotherapy. *Oncoimmunology*, 11(1): 2031500.
- Buffière, C., Hiolle, M., Peyron, M-A., Richard, R., Meunier, N., Batisse, C., Remond, D., Dupont, D., Nau, F., Pereira, B., Savary-Auzeloux, I. (2021). Food matrix structure (from biscuit to custard) has an impact on folate bioavailability in healthy volunteers. *European Journal of Nutrition*, 60, 411-423.
- Carling, R.S., Turner, C. (2019). Methods for assessment of biotin (vitamin B<sub>7</sub>). In "Laboratory Assessment of Vitamin Status", Edt: Dominic Harrington, Academic Press, ISBN: 978-0-12-813050-6, Chapter 10, 193-217.
- Çatak, J. (2019). Determination of niacin profiles in some animal and plant based foods by high performance liquid chromatography: association with healthy nutrition. *Journal of Animal Science and Technology*, 61(3): 138-146.
- Demir, B., Gürbüz, M., Çatak, J., Uğur, H., Duman, E., Beceren, Y., Yaman, M. (2023). *In vitro* bioaccessibility of vitamins B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, and B<sub>3</sub> from various vegetables. *Food Chemistry*, 398: 133944.
- Ede, G., Ayaz, A. (2016). B<sub>12</sub> Vitamini ve folik asitdin adipozite üzerine etkisi. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 44(1):47-54.
- Etcheverry, P., Grusak, M.A., Fleige, L.E. (2012). Application of *in vitro* bioaccessibility and bioavailability methods for calcium, carotenoids, folate, iron, magnesium, polyphenols, zinc, and vitamins B<sub>6</sub>, B<sub>12</sub>, D, and E. *Frontiers in Physiology*, 3: Article 317, 1-22.
- Fărcaș, A. C., Socaci, S. A., Chiș, M. S., Martínez-Monzó, J., García-Segovia, P., Becze, A., Török, A. L., Kadarı, O., Coldea, T. E., Igual, M. (2022). *In vitro* digestibility of minerals and B group vitamins from different brewers'spent grains. *Nutrients*, 14(17), 3512.
- Fitzpatrick, T. B., Chapman, L. M. (2020). The importance of thiamine (vitamin B<sub>1</sub>) in plant health: From crop yield to biofortification. *Journal of Biological Chemistry*, 295(34): 12002-12013.
- Garg, M., Sharma, N., Sharma, S., Kapoor, P., Kumar, A., Chunduri, V., Arora, P. (2018). Biofortified crops generated by breeding, agronomy, and transgenic approaches are improving lives of millions of people around the world. *Frontiers in Nutrition*, 5:12.
- Garg, M., Sharma, A., Vats, S., Tiwari, V., Kumari, A., Mishra, V., Krishania, M. (2021). Vitamin in cereals: A critical review of content, health effects, processing losses, bioaccessibility, fortification and biofortification strategies for their improvement. *Frontiers in Nutrition*, 8: 586815.
- Hrubša, M., Siatka, T., Nejmanová, I., Vopřalová, M., Krčmová, L. K., Matoušová, K., Javorská, L., Macáková, K., Mercolini, L., Remião, F., Mátuš, M., Mladěnka, P. (2022). Biological properties of vitamins of the B-complex, Part 1: Vitamins B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> and B<sub>5</sub>. *Nutrients*, 14(3): 484.
- Huda, M. N., Lu, S., Jahan, T., Ding, M., Jha, R., Zhang, K., Zhang, W., Georgiev, M. I., Park, S. U., Zhou, M. (2021). Treasure from garden: Bioactive compounds of buckwheat. *Food Chemistry*, 335: 127653.
- Joshi, D.C., Chaudhari, G.V., Sood, S., Kant, L., Pattanayak, A., Zhang, K. (2019). Revisiting the versatile buckwheat: Reinvigorating genetic gains through integrated breeding and genomics approach. *Planta*, 250(3): 783–801.
- Karakas, F. P., Keskin, Ç. N., Agil, F., Zencirci, N. (2021). Profiles of vitamin B and E in wheat grass and grain of einkorn (*Triticum monococcum* spp. monococcum), emmer (*Triticum dicoccum* ssp. *Dicoccum* Schrank.), durum (*Triticum durum* Desf.), and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars by LC-ESI-MS/MS analysis. *Journal of Cereal Science*, 98: 103177.
- Kennedy, D.O. (2016). B vitamins and the brain: Mechanism, dose and efficacy-A review. *Nutrients*, 8(2): 68.
- Kerns, J.C., Arundel, C., Chawla, L.S. (2015). Thiamin deficiency in people with obesity. *Advances in Nutrition*, 6(2): 147-153.
- Kurek, M. A., Wyrwisz, J., Karp, S., Wierzbicka, A. (2017). Particle size of dietary fiber preparation

- affects the bioaccessibility of selected vitamin B in fortified wheat bread. *Journal of Cereal Science*, 77: 166-171.
- Lee, S. Y., Lee, D. Y., Kang, J. H., Kim, J. H., Kim, H. W., Oh, D. H., Jeong, J. W., Kim, B. K., Hur, S. J. (2022). Effect of age-related *in vitro* human digestion with gut microbiota on antioxidative activity and stability of vitamins. *LWT-Food Science and Technology*, 159, 113243.
- Liang, Q., Wang, K., Shariful, I., Ye, X., Zhang, C. (2020). Folate content and retention in wheat grains and wheat-based foods: Effects of storage, processing, and cooking methods. *Food Chemistry*, 333: 127459.
- Lindschinger, M., Tatzber, F., Schimetta, W., Schmid, I., Lindschinger, B., Cvirn, G., Stanger, O., Lamont, E., Wonisch, W. (2019). A randomized pilot trial to evaluate the bioavailability of natural versus synthetic vitamin B complexes in healthy humans and their effects on homocysteine, oxidative stress, and antioxidant levels. *Hindawi Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 12: 6082613.
- Lopez-Gamez, G., Martinez-Elez, P., Martin-Belloso, O., Soliva-Fortuny, R. (2021). Recent advances toward the application of non-thermal technologies in food processing: An insight on the bioaccessibility of health-related constituents in plant-based products. *Food*, 10: 1538.
- Lyon, P., Strippoli, V., Fang, B., Cimmino, L. (2020). B Vitamins and one-carbon metabolism: Implications in human health and disease. *Nutrients*, 12(9): 2867.
- Mihhalevski, A., Nisamedtinov, I., Hälvin, K., Oseka, A., Paalme, T. (2013). Stability of B-complex vitamins and dietary fiber during rye sourdough bread production. *Journal of Cereal Science*, 57: 30-38.
- Mikkelsen, K., Apostolopoulos (2019). Vitamin B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub>, and B<sub>6</sub> and the immune system. In "Nutrition and Immunity", Edts: Mahmoudi, M., Rezaei, N., Springer Cham, ISBN: 978-3-030-16072-2, Chapter 7, p. 115-125.
- Murakami, T., Yutani, A., Yamano, T., Iyota, H., Konishi, Y. (2014). Effects of popping on nutrient contents of amaranth seed. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69: 25-29.
- Németh, R., Tömösközi, S. (2021). Rye: Current state and future trends in research and applications. *Acta Alimentaria*, 50(4): 620-640.
- Neves, D. A., de Sousa Lobato, K. B., Angelica, R. S., Filho, J. T., de Oliveria, G. P. R., Godoy, H. T. (2019). Thermal and *in vitro* digestion stability of folic acid in bread. *Journal of Food Composition and Analysis*, 84: 103311.
- Onyambu, M. Z., Nawiri, P. M., Nyambaka, N. H., Noah, M. N. (2021). *In vitro* bioaccessibility of the vitamin B series from thermally processed leafy African indigenous vegetables. *Hindawi Journal of Food Quality*, 5540724, 1-8.
- Petrovska-Avramenko, N., Karklina, D., Gedrovica, I. (2017). Water soluble vitamins B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> and B<sub>3</sub> in triticale and hull-less barley grains. 11<sup>th</sup> Baltic Conference on Food Science and Technology, FOODBALT 2017, Jelgava, Latvia, April 27–28.
- Ramamoorthy, K., Sabui, S., Srinivasan, P., Al-Juburi, S., Pham, Q., Chu, B. D., Simoes, R. D., Fleckenstein, J. M., Said, H. M. (2021). Effect of chronic alcohol exposure on gut vitamin B<sub>7</sub> uptake: Involvement of epigenetic mechanisms and effect of alcohol metabolites. *American Journal of Physiology Gastrointestinal and Liver Physiology*, 321: G123-133.
- Rodriguez, J. P., Rahman, H., Thushar, S., Singh, R. K. (2020). Healthy and resilient cereals and pseudo-cereals for marginal agriculture: Molecular advances for improving nutrient bioavailability. *Frontiers in Genetics*, 11: 49.
- Roy, P., Deb, D., Suganya, A., Roy, B., Pradeep, T., Saha, T. (2023). Endangered indigenous rice varieties as a source of B vitamins for the undernourished population. *Cereal Chemistry*, 100, 887-894.
- Rybicka, I., Gliszczynska-Świgło, A. (2017). Gluten-free flours from different raw materials as the source of vitamin B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub> and B<sub>6</sub>. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 63(2): 125-132.
- Sezgin, Y. (2019). Vitamin B<sub>12</sub> yetersizliğine yaklaşım. *Konuralp Tıp Dergisi*, 11(3): 482-488.

- Stach, K., Stach, W., Augoff, K. (2021). Vitamin B<sub>6</sub> in health disease. *Nutrients*, 13: 3229.
- Suwannasom, N., Kao, I., Pruss, A., Gerorgieva, R., Bäuml, H. (2020). Riboflavin: The health benefits of a forgotten natural vitamin. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(3): 950.
- Tekin, M., Cengiz, M. F., Abbasov, M., Aksoy, A., Canci, H., Akar, T. (2018). Comparison of some mineral nutrients and vitamins in advanced hulled wheat lines. *Cereal Chemistry*, 95: 436-444.
- Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Uribe, E., Puente, L., Martínez, E. A. (2010). Nutrition facts and functional potential of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), an ancient Andean grain: A review. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 90: 2541-2547.
- Xu, J., Patassini, S., Begley, P., Kilisesi, S., Waldvogel, H. J., Hatası, R. LM., Unwin, R. D., Cooper, G.J.S. (2020). Cerebral deficiency of vitamin B<sub>5</sub> (D-pantothenic acid; pantothenate) as a potentially-reversible cause of neurodegeneration and dementia in sporadic Alzheimer's disease. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 527(3): 676-681.
- Yaman M. (2019). Farklı ekmek çeşitlerinde doğal olarak bulunan vitamin B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> ve B<sub>6</sub>'nin *in vitro* biyoerişebilirliğinin incelenmesi. *European Journal of Science and Technology*, 16: 758-764.
- Yaman, M., Mızrak, Ö. F. (2019). Determination and evaluation of *in vitro* bioaccessibility of the pyridoxal, pyridoxine and pyridoxamine forms of vitamin B<sub>6</sub> in cereal-based baby foods. *Food Chemistry*, 298: 125042.
- Yaman, M., Çatak, J., Uğur, H., Gürbüz, M., Belli, İ., Tanyıldız, S.N., Yıldırım, H., Cengiz, S., Yavuz, B.B., Kışmıroğlu, C., Özgür, B., Yıldız, C.M. (2021). The bioaccessibility of water soluble vitamins: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 109: 552-563.
- Zaupa, M., Scazzina, F., Dall'Asta, M., Calani, L., Del Rio, D., Bianchi, M.A., Melegari, C., De Albertis, P., Tribuzio, G., Pellegrini, N., Brighenti, F. (2014). In vitro bioaccessibility of phenolics and vitamins from durum wheat aleurone fractions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62: 1543-1549.