

KURUTULMUŞ ET İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ TAM BUĞDAY UNLU GALETALARDA IN VITRO DEMİR BİYOERİŞİLEBİLİRLİĞİNİN SAPTANMASI

Emine Erdağ Akca, Özlem Çağındı*, Ergun Köse

Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Manisa Türkiye

Geliş / Received: 19.12.2022; Kabul / Accepted: 09.10.2023; Online baskı / Published online: 25.10.2023

Erdağ Akca, E., Çağındı, Ö., Köse, E. (2023). Kurutulmuş et ile zenginleştirilmiş tam buğday unlu galetalarda in vitro demir biyoerişilebilirliğinin saptanması. GIDA (2023) 48 (6) 1216-1229 doi: 10.15237/ gida.GD22130

Erdağ Akca, E., Çağındı, Ö., Köse, E. (2023). In vitro iron bioaccessibility of whole wheat flour breadsticks fortified with dried meat powder. GIDA (2023) 48 (6) 1216-1229 doi: 10.15237/ gida.GD22130

ÖZ

Demir eksikliği ve demir eksikliği anemisi global ölçekte birçok insanı etkileyen besinsel bir problemidir. Bu çalışma kapsamında tüketimi yaygın, kolay erişilebilir tam buğday unlu galetalar yüksek demir ve protein kaynağı olan kırmızı et tozu ile %30 oranında zenginleştirilmiştir. Kimyasal analiz sonuçları; zenginleştirilen grubun kontrole göre yüksek oranda kül (%4.26±0.49) ve protein (%35.94±1.65) içeriğine sahip olduğunu göstermiştir. Ürünlerin nem miktarları kontrol ve et tozu içeren örneklerde sırasıyla %2.43 ve %16.03 olarak bulunmuştur. INFOGEST protokolü uygulanarak in vitro sindirim öncesi ve sindirim sonrası demir miktarı tespit edilerek biyoerişilebilir demir miktarı %56.84±0.42 olarak hesaplanmış ve zenginleştirilen grup kontrole göre (%10.20±0.15) önemli ölçüde artış göstermiştir. Kırmızı etin kendine has rengi örneklerin L*, a*, b* değerlerini etkilemiş ve toplam renk değişimi 11.46 olarak tespit edilmiştir. Kullanılan yüksek orandaki et tozunun örneklerin kırılabilirliğini azaltarak elastikiyeti arttırdığı, buna bağlı olarak kırılma için gerekli mesafenin azalmasına sebep olduğu görülmüştür. Panelistler tarafından örnekler görünüş, renk, lezzet, doku, genel beğeni açısından değerlendirildiği duyu panelde, kontrol grubu tüm özellikler bakımından et tozu içeren gruba göre üstün bulunmuştur. Bu çalışmada günlük beslenmenin temelini oluşturan tahıl ürünleri ile demir ve protein içeriği yüksek kırmızı et bir araya getirilerek kolay ulaşılabilir, tüketimi yaygın tahıl bazlı atıştırmalık formuna dönüştürülmüştür. Bu yönü ile çalışma kapsamında demir ile zenginleştirilmiş ve demir biyoerişilebilirliği artırılmış, protein içeriği yüksek tam buğday unlu galeta eldesi sağlanmıştır. Ancak tüketici tercihini etkileyen fiziksel ve duyu özelliklerde iyileştirmelerin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Tahıl atıştırmalıkları, demir, biyoerişilebilirlik, kırmızı et, in vitro sindirim

IN VITRO IRON BIOACCESSIBILITY OF WHOLE WHEAT FLOUR BREADSTICKS FORTIFIED WITH DRIED MEAT POWDER

ABSTRACT

Iron deficiency and iron deficiency anemia is a nutritional problem affecting many people globally. In this study, widely consumed and easily accessible whole wheat flour breadsticks were enriched by 30% with red meat powder which is a high iron and protein source. Chemical analysis results showed

* Yazışmalardan sorumlu yazar/Corresponding author

✉: ozlem.cagindi@cbu.edu.tr

☎: (+90) 236 201 2263

☎: (+90) 236 201 2020

Emine Erdağ Akca; ORCID no: 0000-0002-5260-9630

Özlem Çağındı; ORCID no: 0000-0002-6436-9208

Ergun Köse; ORCID no: 0000-0002-1893-1984

that the enriched group had higher ash ($4.26\pm 0.49\%$) and protein ($35.94\pm 1.65\%$) contents than the control. The moisture contents of the products were found to be 2.43% and 16.03% in the control and the samples containing meat powder, respectively. In vitro pre-digestion and post-digestion iron content was determined by applying INFOGEST protocol and bioaccessible iron content was calculated as $56.84\pm 0.42\%$ and the enriched group showed a significant increase compared to the control ($10.20\pm 0.15\%$). The unique color of red meat affected the L^* , a^* , b^* values of the samples and the total color change was calculated as 11.46. It was observed that the high amount of meat powder used decreased the fracturability of the samples and increased the elasticity, which resulted in a decrease in the distance required for breakage. In the sensory panel where the samples were evaluated by the panelists in terms of appearance, color, flavor, texture and general taste, the control group was found superior to the group containing meat powder in terms of all properties. In this study, cereal products, which form the basis of daily nutrition, and red meat with high iron and protein content were combined and transformed into an easily accessible and widely consumed cereal-based snack form. In this aspect, whole wheat flour breadsticks with high protein content, enriched with iron and increased iron bioaccessibility were obtained within the scope of the study. However, it is thought that improvements in physical and sensory properties that affect consumer preference would be beneficial.

Keywords: Cereal snacks, iron, bioaccessibility, red meat, in vitro digestion

GİRİŞ

Birçok ülke besinsel eksikliklerin sebep olduğu problemler ile karşı karşıyadır (Toor ve ark., 2021). Bu sebeple son yıllarda mikro besin öğelerinin fizyolojik rollerini anlamak, yetersizliklerinin sonuçlarını ve halk sağlığı üzerine etkilerini tanımlamak, bu bileşenlerin yetersizliklerini önlemekle birlikte kontrol stratejileri geliştirmek adına önemli araştırmalar yapılmıştır (Godswill ve ark., 2020; Savarino ve ark., 2021). Minerallerin biyolojik sistemlerdeki rolü ve birbirleri ile etkileşimleri halen keşfedilmeye devam etse de demirle ilgili çalışmaların temeli Antik Yunan topluluklarına kadar dayanmaktadır. Demirin canlı hücreler için önemi ilk olarak 1873'te Boussingault tarafından yayımlanan makalede ele alınmıştır. Bundan 20 yıl sonra Bunge tarafından beslenmesi yoğun olarak süte dayanan bebeklerin düşük demir alımına yatkın olduklarını gösteren bir çalışma ortaya konulmuştur. Bu gelişmelerle birlikte demirin besinsel değeri ve yetersiz alımının bazı sonuçları dikkat çekmeye başlamıştır (Harris, 2014; De la Guardia ve Garrigues, 2015). Son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalarda ise, demir eksikliği ile bozulmuş beyin gelişimi arasındaki ilişki ortaya konulmuş, öğrenmeyi ve davranışı etkileyen fonksiyonel kusurların ilerleyen süreçte takviye alımı ile düzeltilemediği gözlemlenmiştir. Çalışmalardan elde edilen bulgular demir eksikliğinin erken dönemlerde önlenmesinin daha

acil bir hal aldığını vurgulamaktadır (WHO, 2004; Savarino ve ark., 2021). Demir eksikliği anemisi (DEA) alanında gerçekleştirilen ekonomik analizler, demir eksikliği ya da buna bağlı aneminin düşük maliyetlerle ve birkaç temel strateji ile (gıda zenginleştirme/ biyozenginleştirme, beslenme eğitimleri, bir gıda aracılığı olmadan takviye alımı gibi) önlenileceğini öne sürmüştür (Yalçın ve ark., 2009). Bu stratejilerin tek başına veya farklı kombinasyonlarla uygulanması olumlu etkiler yaratmıştır (Abbaspour ve ark., 2014). Diğer yöntemlere kıyasla gıdaların zenginleştirilmesi, daha güvenilir, esnek, sosyal olarak kabul edilebilir ve etkili bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Ekonomik olarak ele alındığında ise; zenginleştirmenin yapılacağı bölgenin coğrafi konumuna bakılmaksızın çok daha uygun maliyetli bir seçenektir. Gıda zenginleştirmenin ilk aşaması mikro besin için araç olacak bir gıda seçimidir. Mikro besinsel eksikliklerin giderilmesinde etkili olabilmesi için söz konusu gıdanın popülasyonun çoğunun diyetinin ayrılmaz bir parçası olması gerekmektedir (Huma ve ark., 2007).

Bir gıda maddesinin tüketimini takiben sindirim sonrası besinler mideye geçer ve ince bağırsakta birçok mineralin emilimi gerçekleşir. Vücudun farklı fonksiyonlar için ihtiyaç duyduğu mineraller emildikten sonra aktif veya pasif şekilde kan

dolaşımına taşınır (Thakur ve ark., 2020). Diğer pek çok mineralde olduğu gibi demir emilimi hayati önem taşısa da günlük diyet ile alınan miktarın önemli bir kısmının emilimi gerçekleşmez (Gharibzahedi ve Jafari, 2017). Koşullara ve türüne bağlı olmakla birlikte vücuda alınan demirin yaklaşık %5-35'lik kısmı emilebilmektedir. Tavsiye edilen günlük alım miktarı yaş grubu ve cinsiyet gibi faktörlere bağlı olarak yaklaşık 15-25 mg/gün arasında değişmektedir (Harris, 2014). Emilimde rol oynayan en önemli mekanizma demirin formudur (WHO, 2004). Besinlerle vücuda alınan demir hem ve hem olmayan olmak üzere 2 farklı formda bulunur. Hem demir; et, kümes hayvanları ve balık tüketiminden kaynaklanan hemogloblin ve miyoglobindir. Hem olmayan demir ise daha çok; tahıllardan, bakliyalardan, baklagillerden, sebzelerden ve meyvelerden sağlanır. Bu sebeple hem demir formu sadece hayvansal kökenli (kırmızı et, iç organlar, balık, deniz ürünleri gibi) gıdaların tüketilmesi ile alınır ve biyoyararlılığı (%15-35) hem olmayan demire kıyasla daha yüksektir (Alegria-Torán ve ark., 2015). Demirin bağırsaklardan emilimi yapısına bağlı olduğu kadar gıda matriksi ve etkileşime girdiği maddelere de bağlıdır. Emilimi artırıcı etmenlerin başında askorbik asit, et, deniz ürünleri ve fermente sebzeler gelmektedir. Et kendisi bir demir kaynağı olmasının yanı sıra demir içeriği yüksek diğer besinlerle tüketildiğinde, besinlerdeki demirin emilimini de artırma özelliğine sahiptir. Fitatlar, demir bağlayıcı fenolikler (çay, kahve, bazı baharatlar, kırmızı şarap vs.), kalsiyum ve soya demir emilimini engelleyici bileşenlerin başında gelmektedir (WHO, 2004; Harris, 2014).

Genel anlamda biyoerişilebilirlik, bir gıdanın sindirim sistemine alınmasından sonra, gıda içerisindeki bileşenin vücut tarafından emilim miktarı olarak tanımlanabilmektedir (Güven, 2016). Biyoerişilebilirlik açısından kesin sonuçlar eldesi *in vivo* deneyleri gerektirmektedir. İnsanlar ve hayvanlar üzerinde yapılan bu çalışmalar; karmaşık, pahalı ve de etik sorunlar içermesinden dolayı çok tercih edilmemektedir (Şensu, 2018). Bunun yerine insan sindirim sistemini laboratuvar ortamında simüle eden *in vitro* metotlar geliştirilmiştir. Statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılan *in vitro* sistemlerde sıcaklık, çalkalama, pH,

enzim ve kimyasal kompozisyon gibi sindirimin fizyolojik koşulları taklit edilmektedir. Statik *in vitro* sindirim modelleri sindirim koşullarının gıdaya etkisini değerlendirmek ya da biyoerişilebilirliğe gıda matriksi, bileşimi, diyetetik faktörler, uygulanan işlemlerin etkilerini değerlendirmek için kullanılabilir. Ancak literatürde birçok araştırmacı tarafından farklı *in vitro* statik sindirim modellerinin kullanılması sonuçların kıyaslanabilirliğini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle 2014 yılında birçok farklı ülkeden araştırmacıların yer aldığı INFOGEST ekibi bir protokol oluşturarak sindirim modellemelerinde ayrılıkların giderilmesini sağlamıştır. Ekip 2019 yılında INFOGEST 2.0 protokolünü eski modelin üzerine inşa ederek insan sindirim sistemine daha yakın bir sistem elde etmeyi amaçlamıştır. Bu protokolün uygulanması ile çalışmalar arası kıyaslanabilirliğin artacağı düşünülmektedir (Mackie ve Rigby, 2015; Brodkorb ve ark., 2019).

Bu çalışmada demirin temel kaynaklarından olan kırmızı et kurutulmuş olarak ulaşımı kolay ve yaygın tüketilen tam buğday unundan üretilen atıştırmalıklara ilave edilmiştir. Elde edilen protein ve demirce zengin galetalar *in vitro* sindirim modellemesine tabi tutularak demir biyoerişilebilirliği saptanırken, zenginleştirmenin atıştırmalıklarda fiziksel ve duyuşal özelliklere etkileri de incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEMLER

Materyal

Çalışma kapsamında galetaların eldesi için kullanılan hammaddeler (tam buğday unu, şeker, tuz, maya, katı yağ) ve sığır eti Manisa ilinde bulunan marketlerden temin edilmiştir. Araştırma esnasında kullanılan tüm kimyasallar analitik saflıkta veya HPLC saflığında, Sigma Co. (St. Louis, ABD) ve Merck (Darmstadt, Almanya) firmalarından temin edilmiş; ekipmanlar ise Manisa Celal Bayar Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarından sağlanmıştır.

Etin kurutulması

Et tozu için sığır etinin demir içeriği yüksek, yağ içeriği düşük olan bonfile kısmı tercih edilmiştir.

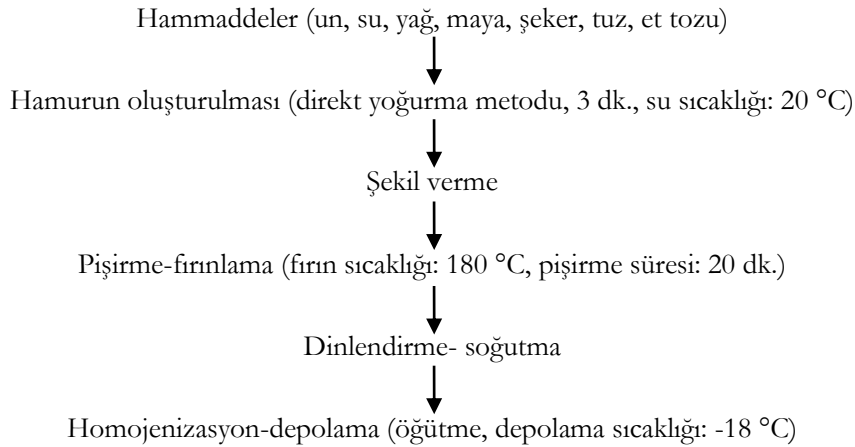
Yapılan farklı ön denemelerde et 40 °C'de, 24 saat sabit hava akımında %8 nem düzeyine düşürülerek öğütme için en uygun yapı elde edilmiştir. Etlar daha kolay ve homojen kuruması için dilimleme makinası ile kesilerek fanlı etüvde (Memmert, UFE400, Almanya) kurumaya bırakılmıştır. Bu şekilde kurutulan etler bıçaklı öğütücüde (Retsch, Grindomix GM 200, Almanya) öğütüldükten sonra vakum paketleme ile -18 °C'de üretim ve analizler gerçekleştirilinceye kadar depolanmıştır.

Atıştırmalık galetaların üretimi

Galetaların üretiminde Özgören ve ark. (2018) tarafından kullanılan formülasyon ve işlemler temel alınmıştır. Tam buğday unu (100 g) ana bileşen olarak kabul edilmiş ve formülasyonun diğer bileşenleri un baz alınarak yüzdesel olarak hesaplanmıştır. Hamur karışımı oluşturmak için 100 g tam buğday ununa 4 g şeker (%4), 1.5 g tuz (%1.5), 2.5 g maya (%2.5), 20 g katı yağ (%20) ve 40 ml su (%40) ilave edilmiştir. Et tozu ilaveli örneklerin hazırlanmasında ön denemelerde çalışılan %20, %30, %40 oranlarından duyuşsal panel sonuçları ile birlikte tahıl içerikli ürünlerin teknolojik ve reolojik özelliklerine en yakın zenginleştirme oranı %30 olarak belirlenmiş, bu nedenle diğer bileşenlerin yüzde oranları

değiştirilmeden deneme grubu formülasyonu oluşturulmuştur. Ancak kontrol grubunda hamur formu için gerekli su miktarı %40 olarak sabit tutulurken, et tozu içeren hamur formülasyonunda en uygun su oranı %46 olarak tespit edilmiş ve su oranı %40'tan %46'ya çıkarılmıştır. Kontrol reçetesi "K"; %30 oranda et ile zenginleştirilen deney grubu "D" olarak kodlanmış ve çalışma kapsamında yer alan tablolarda bu şekilde ifade edilmiştir.

Hammaddeler belirtilen miktarlarda tartularak hamur oluşumu için karıştırma adımına geçilmiştir. Karıştırma işlemi mikser (KitchenAid, ArtisanTilt-Head Stand Mixer, ABD) yardımıyla 3 dk. boyunca 2. devirde gerçekleştirilmiştir. Pişirme öncesi hamur tartılmış ve 20±2.0 g olacak şekilde porsiyonlanarak 20 cm uzunluğunda galeta şekli verilmiştir. Şekil verildikten sonra konveksiyonlu fırına (Inoksan, FKE010, Türkiye) alınan ürünler 180 °C'de 20 dk. süresince pişirilmiştir. Örnekler soğuması için oda sıcaklığında 2 saat bekletilerek öğütücüde (Waring Blender, 7011, ABD) öğütülüp homojen hale getirilmiş ve vakum paketleme yapılarak analizler gerçekleştirilinceye kadar -18 °C'de depolanmıştır.



Şekil 1. Galetaların üretim akış şeması
Figure 1. Production flow chart of breadsticks

Kimyasal kompozisyonun belirlenmesi

Örneklerde nem tayini TS EN ISO 712 (Anonim, 2010) ve kül tayini TS EN ISO 2171 (Anonim, 2010a) baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Toplam protein miktarı ise AOAC 960.52- Dumas metodu ile belirlenmiştir (AOAC, 1995). Çalışma kapsamında tam buğday unu kullanıldığı için protein çevirme faktörü 5.69 olarak alınmış (Fujihara ve ark., 2008), kül ve protein miktarları kuru madde üzerinden ifade edilmiştir. Yağ miktarının belirlenmesi için Soxhlet yöntemi (AOAC 963.15) baz alınmış ve 2 g olarak tartılan örnekler, 16 saat süreyle hegzanla ekstrakte edilmiştir. Hegzan dönerli buharlaştırıcıyla (Heidolph G1 Rotary Evaporatör, Schwabach, Almanya) uçurulduktan sonra tartılarak üründeki yağ miktarı hesaplanmıştır (AOAC, 1990).

Pişme kaybı ve verim

Örneklerde pişme kaybı ve ürün verim hesaplaması yapılmıştır (Barışık ve Tavman, 2018).

$$\text{Pişme Kaybı (\%)} = [(\text{HA}-\text{ÜA})/\text{HA}] * 100$$

Denklem 1

$$\text{Ürün Verimi (\%)} = (\text{ÜA}/\text{Un Ağırlığı}) * 100$$

Denklem 2

(HA: Hamur ağırlığı ve ÜA: Pişmiş ürün ağırlığı)

Demir miktarı tayini

Galetaların in vitro sindirim öncesi ve sonrası demir miktarı belirlenmiştir. Sindirim öncesinde örnekler öğütülerek (Retsch, Grindomix GM 200, Almanya) homojen hale getirilmiştir. Sindirim

sonrası ise işlem görmüş örnekler -86 °C (New Brunswick Scientific, U410 -86, İngiltere) depolanmıştır. Tüm örneklere mikrodalga ön yakma işlemi uygulanmıştır. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Deneysel Fen Bilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (MCBÜ DEFAM) bulunan ICP-OES (Perkin Elmer, Optima 8000, ABD) cihazında yürütülmüştür. Analiz koşulları plazma gazı: argon, plazma akış hızı: 8 L/dk., yardımcı gaz akış hızı: 0.2 L/dk., nebulizatör gazı akış hızı: 0.65 L/dk., güç: 1300 watt, radyal mod olarak gerçekleştirilmiştir.

INFOGEST in vitro sindirim modellemesi

Brodkorb ve ark. (2019), tarafından tanımlanan sindirim modellemesinde yöntem; hazırlık, sindirim ve örneklerin analizler için depolanmasını içeren 3 aşamadan oluşmaktadır. Hazırlık aşamasında enzim (pepsin, tripsin) aktiviteleri hesaplanmış ve gerekli miktarlar tespit edilmiştir.

Simüle sindirim sistemi sıvılarının oluşturulması

Sindirim sıvıları Çizelge 1'de gösterildiği şekilde hazırlanarak her bir ortam sıvısı ultra saf su ile 400 mL hacme tamamlanmıştır. 0.3 M CaCl₂(H₂O)₂ sindirim işleminden hemen önce hazırlanarak çözeltilere ilave edilmiştir. Pepsin ve tripsin enzimleri sırası ile midede 2000 U/mL, bağırsakta 100 U/mL aktivite gösterecek şekilde sindirim sıvılarına ilgili sindirim ortamına eklenmiştir.

Çizelge 1. Simüle sindirim sıvılarının oluşturulması

Table 1. Preparation of stock solution and digestion fluids

Stok konsantrasyonu (M) Stock concentration (M)	SAS (SSF) (pH:7, mL)	SMS (SGF) (pH:3, mL)	SBS (SIF) (pH:7, mL)
KCl	0.5	15.1	6.8
KH ₂ PO ₄	0.5	3.7	0.8
NaHCO ₃	1	6.8	42.5
NaCl	2	-	11.8
MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	0.15	0.5	0.4
(NH ₄) ₂ CO ₃	0.5	0.06	0.5
HCl	6	0.09	1.3
CaCl ₂ (H ₂ O) ₂	0.3	0.025	0.005

SAS: Simüle ağız sıvısı, SSF: Simulated salivary fluid

SMS: Simüle mide sıvısı, SGF: Simulated gastric fluid

SBS: Simüle bağırsak sıvısı, SIF: Simulated intestinal fluid

Sindirim prosedürü

Homojenize edilmiş toz örnekten 5 g tartılarak 3.5 mL simüle ağız sıvısı ile karıştırılmıştır. Üzerine 25 µL 0.3 M CaCl₂(H₂O)₂ eklenmiştir. Örnek ve sıvı çözeltilerin oranı 1:1 olacak şekilde (5 g gıda:5 mL simüle ağız sıvısı). saf su ile tamamlanarak 37 °C 100 rpm 2 dk., çalkalamalı inkübatöre yerleştirilmiştir. Ağız sindirimini tamamlayan gıda çalkalayıcıdan alınarak 8 mL SMS (simüle mide sıvısı) ilave edilmiş ve mide fazına geçilmiştir. 5 µL 0.3 M CaCl₂(H₂O)₂ eklendikten sonra 3 M HCl ile pH 3'e (Hanna 2210-02, Almanya) ayarlanmış, bu esnada örneğe eklenen HCl sarfiyatları kaydedilerek daha sonra toplam hacim hesaplamasında kullanılmıştır. 1 mL pepsin çözeltisi ilave edilip gıda:SGF oranı 1:1 olacak şekilde ultra saf su ile 20 mL'ye tamamlanmıştır. Örnekler mide sindirimini gerçekleşmesi için 37 °C 200 rpm'e ayarlı çalkamalı inkübatörde (IKA, KS 4000i, Almanya) 2 saat bırakılmıştır. Bağırsak fazına geçiş için, mide sindirimini tamamlayan 20 mL analiz örneklerine 11 mL SBS (simüle bağırsak sıvısı) ilave edilmiştir. Sarfiyat kaydedilmek suretiyle 1 M NaOH ile pH 7'ye ayarlanmıştır ve 40 µL 0.3 M CaCl₂(H₂O)₂, 2.5 mL safra çözeltisi, 5 mL tripsin enzimi ilave edildikten sonra toplam hacim 40 olacak şekilde (gıda: SGF;1:1) ultra saf su eklenmiştir. Örnekler 37 °C 150 rpm çalkamalı inkübatöre yerleştirilip 2 saat bekletilmiştir. Süre sonunda bağırsak sisteminin tamamlanması ile örnekler vakit kaybedilmeden 4 °C'de 4000 rpm'de 10 dakika santrifüj (Hettich EBA 85, Zentrifugen, Almanya) edilmiştir. Santrifüj sonrası süpernatantlar 45 µm filtrelerden geçirilip temiz bir tüpte toplanarak 1 mL örnek sıvısına 9 µL 500 mM Pefabloc enzim inhibitörü eklenerek sindirim durdurulmuştur. Elde edilen süpernatantlar analizlere kadar -86 °C'de (New Brunswick Scientific, U410 -86, İngiltere) depolanmıştır.

Örneklerde sindirim öncesi ve sindirim sonrası demir miktarı saptanarak, %biyoerişilebilir (BE) demir miktarı aşağıda verilen formül yardımıyla hesaplanmıştır (Menezes ve ark., 2018):

$$\text{Biyoerişilebilirlik (\%)} = \left[\frac{\text{SS Fe}}{\text{SÖ Fe}} \right] \times 100 \quad \text{Denklem 3}$$

SS Fe: Sindirim sonrası Fe miktarı (mg)

SÖ Fe: Sindirim öncesi Fe miktarı (mg)

Ö: Başlangıç örnek ağırlığı (g)

Renk tayini

Konika Minolta (Chromometer CR-5) cihazı ile hem kontrol hem de zenginleştirilen galetaların renk ölçümü gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerler, L^* , a^* , b^* renk birimi ile ifade edilmiştir. Açıklık-koyuluğun bir ölçüsü olan L^* değeri 0 ila 100 arasında bir değer alır, 0'a yaklaştıkça koyuluk artarken, 100'e yaklaştıkça renk açılır. $-a^*$ değeri yeşil ve $+a^*$ değeri kırmızıyı, $+b^*$ değeri sarı ve $-b^*$ değeri maviyi temsil etmektedir (Prim ve ark., 2011; İncedayı ve ark., 2016). Deneme grubunda et tozu kullanımı ile oluşan toplam renk değişimi (ΔE) aşağıdaki denklem yardımıyla, deneme grubu örnekleri d, kontrol örnekleri ise k ile ifade edilerek hesaplanmıştır. Örneklerin renk analizleri 20 °C'de 2 tekrür, 5 paralel olacak şekilde yapılmıştır (Albayrak ve ark., 2021).

$$\Delta E = \left[(Ld - Lk)^2 + (ad - ak)^2 + (bd - bk)^2 \right]^{1/2} \quad \text{Denklem 4}$$

Tekstürel özelliklerin belirlenmesi

Örneklerin tekstürel özelliklerini belirlemek için Texture Analyzer (TA.XT.plus, Stable Micro Systems, İngiltere) cihazında 5 kg yük hücresi ve 3 noktalı kırma (bükme) başlığı (three-point bending rig, HDP/3PB) ile çalışılmıştır. Taban plakasının 2 ayarlanabilir desteği numuneyi desteklemek için uygun aralıklarla (40 mm) ayarlanmıştır. Üretim sonrası örnekler oda sıcaklığında gelmesi için 2 saat bekletilerek 5 cm uzunluğunda kesilmiş ve plakayı ortalayacak şekilde yerleştirilmiştir. Test parametreleri olarak test öncesi hız 1.00 mm/s, test hızı 3.00 mm/s ve test sonrası hız 10 mm/s baz alınmıştır. Doku ölçümleri 25 °C'de 2 tekrür, 7 paralel olacak şekilde gerçekleştirilmiş; örnekleri kırmak için gerekli maksimum kuvvet (kırılma, gevreklik) ve kırılma noktasındaki mesafe kaydedilmiştir (Ktenioudaki ve ark., 2012; Petchoo ve ark., 2021).

Duyusal analiz

Kontrol ve deneme gruplarının duyusal değerlendirmesi Manisa Celal Bayar Üniversitesi öğretim görevlileri ve lisansüstü öğrencilerinden oluşan 20 kişilik yarı eğitilmiş bir panelist grubu tarafından gerçekleştirilmiştir. Analiz öncesi panel ekibine ürünlerin görünüş, renk, lezzet, doku,

genel beğeni parametreleri ve bu parametreleri hangi puanlama skalasında değerlendirecekleri hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Panelistlerin birbirlerinden etkilenmelerini önlemek amacıyla tadım, paravan ile bölünmüş bağımsız bölmelerde gerçekleştirilmiştir. Örnekler farklı kombinasyonlu 3 basamaklı sayılarla kodlanarak, örnekler arası geçişi nötrlemek için su ile panelistlere sunulmuştur. Örneklerin görünüş, renk, lezzet, doku, genel beğeni özellikleri bir hedonik skala ile 5 (1: hiç beğenmedim, 2: beğenmedim, 3: ne beğendim ne beğenmedim, 4: beğendim, 5: çok beğendim) üzerinden değerlendirilmiştir.

İstatistiksel analiz

Çalışma kapsamında zenginleştirilmiş atıştırma malıklarının kontrol grubu ile farklılıklarını

SPSS 24.0 (Statistical Package for the Social Sciences) istatistiksel paket programı kullanılarak belirlenmiştir. Süreç boyunca gerçekleştirilen analizler ayrı ayrı değerlendirilmiş ve tüm analizler 2 tekerrür olarak gerçekleştirilmiştir. Bağımsız örneklem t-Testi ile gruplar arası farklılıklar ($P<0.05$ düzeyinde) belirlenmiştir (SPSS, 2015). Çizelgelerde yer alan veriler ortalama değer \pm standart sapma olarak ifade edilmiştir.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Kimyasal kompozisyon

Analizlerin ilk aşamasında örneklerin kimyasal kompozisyonunu belirlemek amacı ile tam buğday unlu galetelerin nem, kül, yağ ve protein analizleri gerçekleştirilmiş; sonuçlar Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2. Galetelerin kimyasal kompozisyonu

Table 2. Proximate composition of breadsticks

Örnek (Sample)	Kül (%) Ash (%)	Nem (%) Moisture (%)	Protein (%) Protein (%)	Yağ Fat (%)
K	3.79 \pm 0.26 ^a	2.43 \pm 0.26 ^a	10.47 \pm 0.01 ^a	10.62 \pm 0.21 ^a
D	4.62 \pm 0.06 ^b	16.03 \pm 3.90 ^b	35.95 \pm 1.65 ^b	10.99 \pm 0.50 ^a

a,b: Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($P<0.05$).

a,b: Different letters in the same column are statistically significant ($P<0.05$).

K: Kontrol grubu, D: Et tozu içeren deneme grubu

K: Control group, D: Meat powder containing group

Gıdaların nem içeriği doku, renk ve besin değeri gibi özelliklerindeki değişimler üzerinde etkiye sahiptir. Bununla birlikte belirli bir nem düzeyinin altındaki seviyelerde mikrobiyel faaliyetin azalması da nem değerinin bilinmesini önemli kılmaktadır (Karaağaoğlu ve ark., 1993; Nwabor ve ark., 2022). Kurutulmuş et ürünleri için yapılan bir sınıflandırmada düşük nemli ürünler genellikle %25'ten fazla nem içermeyen ve su aktivitesi değeri 0.00 ila 0.60 olarak sınıflandırılırken; orta nemli ürünler ise %15-50 arası nem ve 0.60-0.85 su aktivitesi değerine sahip olanlar olarak belirtilmiştir (Mishra ve ark., 2017). Kurutulmuş et tozu ilave edilen ürünlerin nem değerinde belirgin bir artış gözlenmiştir. Üretim esnasında ürünlerin teknolojik işlenebilirliği için yapılan su ilavesi nem değerindeki artışta etkili olan bir parametre olarak düşünülmektedir. Üretim

aşamasında et tozu ilaveli ürünün yapısal bütünlüğünün oluşturulması için daha fazla su ilave edilmesi ve pişme kaybının kontrole benzer çıkması bu durumu açıklar niteliktedir. Örneklerde kurutulmuş et tozu katkısı protein değerlerinde istatistiksel olarak önemli düzeyde artışa sebep olmuştur. Etin makro besinsel öğelerinden biri olan protein 100 g yaş ağırlıkta ortalama 20-24 g bulunmaktadır ve bu sebeple temel protein kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir (Wyness, 2016). Yüksek oranda protein kaynağı olan kırmızı etin kullanılması tahıl bazlı atıştırma malıklarında yaklaşık 3.5 katı kadar protein artışına sebep olmuştur.

Karaağaoğlu ve ark. (1993) tarafından özel amaçlı unlarla gerçekleştirilen çalışmada, galeta/grissini grubu ürünlerin nem değerlerinin %3.4-4.6,

protein değerlerinin ise %10.7-11.7 arasında değiştiği ifade edilmiştir.

Pişme kaybı ve verim

Pişirme esnasında ağırlık kaybına yol açan başlıca bileşen sudur. Pişme kaybı daha çok matris-su etkileşimi ile açıklanabilen bir parametredir (Marchetti ve ark., 2018). Kurutulmuş et tozu ile zenginleştirilen grup hamur oluşumu için bünyesinde daha çok suya ihtiyaç duymuştur. Pişme kaybı ve ürün verimlerinin yer aldığı Çizelge 3 verileri incelendiğinde; her iki grubun pişme kaybı değerlerinde istatistiksel olarak

anlamli farklılık görülmemektedir ($P>0.05$). Hamur formunun oluşması için et tozu içeren grupta, bileşenlerin karıştırılması aşamasında kontrole göre daha fazla su ilave edilmiştir. Diğer bir ifade ile kurutulmuş et, tam buğday ununa göre daha fazla suyu bünyesinde tutma kapasitesine sahiptir. Her iki grubun pişme kaybının benzer bulunmasıyla birlikte et tozu içeren deneme grubunun daha fazla oranda suyu absorblaması nedeniyle, bu gruptaki galetaların ürün verimi kontrol grubuna göre istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.05$).

Çizelge 3. Galetalara ait pişme kaybı ve verim değerleri

Table 3. Baking loss and yield of breadsticks

Örnek (Sample)	Pişme kaybı (%) Cooking loss (%)	Verim (%) Yield (%)
K	32.94±0.73 ^a	112.16±1.49 ^a
D	31.62±5.00 ^a	132.10±9.64 ^b

a,b: Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($P<0.05$).

a,b: Different letters in the same column are statistically significant ($P<0.05$).

K: Kontrol grubu, D: Et tozu içeren deneme grubu

K: Control group, D: Meat powder containing group

Demir miktarı ve biyoerişilebilirliği

Örneklerdeki demir (Fe) biyoerişilebilirliğini saptamak için sindirim öncesi ve sindirim sonrası demir miktarları analiz edilmiştir; sonuçlar Çizelge 4'te ifade edilmiştir. Literatürde minerallerin biyoyararlılık ve/veya biyoerişilebilirliklerini ölçmek için kullanılan farklı yöntemler yer almaktadır. Özellikle tahıl ürünlerinde demir minerali ile zenginleştirilme yapılarak biyoerişilebilirlik incelemesinin yapıldığı birçok araştırma bulunmaktadır. Ancak bu çalışmalar birçok farklı teknik, prosedür ve çalışma koşulları

altında gerçekleştirilmiştir. Bu sebeple sonuçlar arasında kıyaslama yapmak birçok araştırmacı tarafından doğru bir yaklaşım olarak görülmemektedir (Van Campen ve Glahn, 1999; Diego Quintaes ve ark., 2017). Et, demir kaynağı olmasının yanı sıra tüketildiği besinlerin demirin emilimini de artırma özelliğine sahiptir (WHO, 2004; Harris, 2014). Gerçekleştirilen analiz sonucunda kırmızı et ilavesi ile örneklerde bulunan demirin biyoerişilebilirliği yaklaşık 20 kat artarak %241.01 olarak saptanmıştır.

Çizelge 4. Galetaların sindirim öncesi ve sonrası demir miktarları ve biyoerişilebilirlikleri

Table 4. Iron content of sample before and after in vitro digestion, and bioaccessibility amount of iron

Örnek (Sample)	Sindirim öncesi (mg/100 g kurumadde) Pre- digestion	Sindirim sonrası (mg/100 g) Post- digestion	%BE BA%
K	4.98±0.14 ^a	0.25±0.00 ^a	12.55±0.36 ^a
D	4.05±0.17 ^a	3.90±0.01 ^b	241.01±10.02 ^b

a,b: Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($P<0.05$).

a,b: Different letters in the same column are statistically significant ($P<0.05$).

K: Kontrol grubu, D: Et tozu içeren deneme grubu

K: Control group, D: Meat powder containing group

Etlerde demir biyoerişilebilirliğine olgunlaştırma işleminin etkisinin araştırıldığı çalışmada farklı ırktan hayvanlarda sindirim öncesi 30-45 mg/kg yaş ağırlık demir miktarı saptanmıştır. Örneklerin demir biyoerişilebilirliğinin %60-70 değerleri arasında olduğu bildirilmiştir. Çalışma sonucu araştırmacılar, demir biyoerişilebilirliğinin hayvan ırkı, örnek alınan farklı kas bölümleri ve 14 gün olgunlaştırma işleminden etkilenmediğini belirtmişlerdir (Ramos ve ark., 2012). Bryszewska (2019), tarafından demir biyoerişilebilirliğine birlikte tüketildiği gıda kompozisyonlarının etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla demir biyoerişilebilirliği, sandviç (ekmek, et, tereyağ ve marul içeren) ve yalnızca ekmek içeren bir gıda matrisine demirce zenginleştirerek saptanmıştır. Veriler hem piyasadan alınan hazır demir preparatlarının hem de mikroenkapsüle demir formlarının biyoerişilebilirliğinin farklı gıda matrislerinden istatistiksel olarak önemli derece etkilenmediğini göstermektedir. Ancak bulgular hazır preparatların her iki gıda matrisinde de kapsüle formlara göre daha düşük erişilebilirliğe sahip olduğunu vurgulamaktadır. Bu durumun asıl

sebebi ise buğday unu ve tahıl ürünlerinde yüksek fitat içeriği nedeniyle demir emiliminin genellikle düşük düzeyde olmasıdır. Sığır, domuz ve tavuk etlerine uygulanan ısı işlemlerin Fe minerali biyoerişilebilirliğine etkisinin araştırıldığı başka bir çalışmada ise çiğ materyal ile kıyaslandığında pişmiş üründe (suda ve mikrodalgada pişirme) biyoerişilebilirliğin arttığı gözlenmiştir (Menezes ve ark., 2018).

Renk tayini

Renk, ürünlerin kabul edilebilirliğini ve tüketici tercihini etkileyen önemli parametrelerden birisidir. Rengin doğrudan ya da dolaylı olarak kabul edilebilirlik üzerinde etkili olduğunu gösteren birçok çalışma mevcuttur (Waliszewski ve ark., 2000). Et tozunun tam buğday ununa ikamesinin tahıl atıştırmalıklarının fiziksel özelliklerine etkisinin anlaşılması için ürünlere yapılan renk analizi verileri Çizelge 5'te ifade edilmiştir. Örneklerde toplam renk değişimini ifade eden ΔE değeri ise ortalamalar üzerinden hesaplanmıştır.

Çizelge 5. Galetalara ait L^* , a^* , b^* ve ΔE değerleri

Table 5. L^* , a^* , b^* and ΔE values of breadsticks

Örnek (Sample)	L^* değeri L^* value	a^* değeri a^* value	b^* değeri b^* value	ΔE
K	59.02±3.43 ^b	9.37±1.03 ^a	26.35±1.94 ^b	11.46
D	46.45±2.51 ^a	11.20±1.04 ^b	24.24±1.59 ^a	

a,b: Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($P<0.05$).

a,b: Different letters in the same column are statistically significant ($P<0.05$).

K: Kontrol grubu, D: Et tozu içeren deneme grubu

K: Control group, D: Meat powder containing group

Sonuçlar incelendiğinde kurutulmuş et kullanımı ile örneklerin daha koyu ve kırmızı renge sahip olduğu anlaşılmaktadır. Etlerde rengi oluşturan temel materyal miyoglobindir ve buna bağlı olarak kurutma işlemi esnasındaki renk değişimi daha çok yapıdaki miyoglobinin formu ve miktarı ile ilişkilendirilmiştir. İşlem sırasında miyoglobinin 3 boyutlu yapısının deforme olmasıyla birlikte renkte değişim gözlenir (Aykın ve Erbaş, 2016; Tomasevic ve ark., 2021). Kontrole kıyasla daha koyu ve kırmızı, sarılığı daha az olan ürünlerin eldesi etin kendine has rengi ve kurutma işlemi ile

meydana gelen renk değişimleri ile açıklanabilmektedir.

Tekstür analizi

Atıştırmalıklarda tekstürün önemli göstergeleri olarak kırılma için gerekli maksimum güç (sertlik) ve kırılma mesafesi (kırılgenlik) değerleri incelenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Galetalara ait tekstür analizi sonuçları
Table 6. Texture analyses results of breadsticks

Örnek (Sample)	Sertlik (N) Hardness (N)	Kırılgnalık (mm) Fracturability (mm)
K	20.58±8.60 ^b	0.67±0.22 ^a
D	13.23±10.22 ^a	1.79±0.77 ^b

a,b: Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($P<0.05$).

a,b: Different letters in the same column are statistically significant ($P<0.05$).

K: Kontrol grubu, D: Et tozu içeren deneme grubu

K: Control group, D: Meat powder containing group

Kurutulmuş et tozu ilave edilen örneklerin sertlik değerleri önemli ölçüde azalma gösterirken; kırılma için gerekli mesafe artmıştır ($P<0.05$). Bu değişimde etkili olan faktörlerin etin lifli yapısından ve ilave edilen fazla su miktarından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. İlave edilen yüksek oranda (%30 et tozu) ürünün tekstürüne etki ederek tahıl bazlı atıştırmalıkların kendine has gevrek yapısında kayıp yaşanmasına sebep olmuştur. Başka bir deyiş ile ürünleri daha elastik bir hale getirmiştir. Benzer şekilde Ktenioudaki ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada da, galetaların yüksek lif içeriğine sahip bira yan ürünü olan tahıllarla zenginleştirilmesi, ürünlerin sertlik özelliklerinde azalma ve kırılma mesafesinde artışa sebebiyet vermiştir. Literatürde yapılan çalışmalar

incelendiğinde farklı kaynaklardan elde edilen liflerin fırıncılık ürünlerinde kullanımının ürünlerin dokusal özelliklerine etki ettiği dikkat çekmektedir (Uysal ve ark., 2007).

Duyusal değerlendirme

Et tozu kullanımının gruplar arası farklılığa neden olup olmadığını saptamak amacıyla gerçekleştirilen duysal panelin sonuçları Çizelge 7'de yer almaktadır. Zenginleştirme yapılan grup panelistler tarafından 5 değerlendirme kriteri açısından kontrol grubuna göre istatistiksel anlamda önemli ölçüde düşük puanlar almıştır ($P<0.05$).

Çizelge 7. Galetalara ait duysal değerlendirme sonuçları

Table 7. Sensory evaluation results of breadsticks

Örnek (Sample)	Görünüş Appearance	Renk Color	Lezzet Taste	Doku Texture	Genel Beğeni Overall acceptability
K	4.50±0.88 ^b	4.54±0.93 ^b	4.45±0.72 ^b	4.41±0.65 ^b	4.54±0.72 ^b
D	3.78±0.90 ^a	3.75±0.98 ^a	2.04±0.80 ^a	1.96±0.75 ^a	2.16±0.87 ^a

a,b: Aynı sütundaki farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel olarak birbirinden farklıdır ($P<0.05$).

a,b: Different letters in the same column are statistically significant ($P<0.05$).

K: Kontrol grubu, D: Et tozu içeren deneme grubu

K: Control group, D: Meat powder containing group

Renk analizi verileri ve tüketici tercihini gösteren renk kriterlerinin puanlamaları baz alındığında et tozu içeren grubun daha koyu ve kırmızı renginin beğenilmediği görülmüştür. Tekstür analizi sonrası elde edilen veriler incelendiğinde ortaya çıkan farklılığın tüketici doku puanlamasına paralel olduğu görülmekte; gevrek yapının kaybolması ve kırılgnlığın azalmasının panelistlerin doku beğenisini önemli ölçüde azalttığı görülmektedir ($P<0.05$).

Agengo ve ark. (2020), tarafından gerçekleştirilen çalışmada ekmek içeriğini zenginleştirmek amacıyla salyangoz eti tozu kullanılmıştır. Çalışma kapsamında salyangoz eti tozu %5-10-15-20-25 oranlarında sorgum-buğday ununa ikame olarak kullanılmış ve örneklerin kimyasal bileşiminde (kül, protein, yağ), demir, çinko, kalsiyum, magnezyum gibi başlıca mineral içeriklerinde artış ($P<0.05$) olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte %5 ve %25 salyangoz eti içeren örnekler sindirim

işlemine uğratıldığında protein sindirilebilirliğinin %16 ve %22 oranlarına çıktığı ifade edilmektedir.

Balık tozunun buğday ununa ikame olarak (%5-10-15 oranlarında) kullanıldığı bir başka çalışmada tahıl bazlı atıştırmalıkların kimyasal ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Artan balık tozu ikamesi ile atıştırmalıkların nem, kül ve protein içeriklerinde istatistiksel olarak önemli ($P<0.05$) bir artış gerçekleşmiştir. Gerçekleştirilen tekstür analizi ile balık tozlu atıştırmalıkların kontrole göre daha düşük sertlik değerleri gösterdiği açığa çıkartılmıştır. Renk verileri incelendiğinde artan oran kırmızılığın Maillard reaksiyonu sonucu, sarılık değerinin de buğday unu bileşiminden farklı kompozisyona sahip bir ürünün kullanılması sonucu arttığı Nawaz ve ark. (2021) tarafından açıklanmıştır.

SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında et ve tahıl ürünleri bir araya getirilerek, ulaşılabilir ve tüketimi kolay tam buğday unlu tahıl bazlı zenginleştirilmiş atıştırmalıklar elde edilmiştir. Amaçlanan protein ve demirce zengin ürün eldesinde demir biyoerişilebilirliği in vitro sindirim modellemesi gerçekleştirilerek saptanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında gerçekleştirilen genel bileşim analizi, et tozu ile zenginleştirilen örneklerin kül ve protein içeriği bakımından kontrole göre önemli ölçüde artış olduğunu ortaya çıkarmıştır. Örneklerde sindirim analizi öncesi ve sonrası demir içerikleri incelendiğinde, %demir biyoerişilebilirliğinin et tozu içeren grupta önemli düzeyde arttığı görülmüştür. Et tozunun kendine has rengi ve pişirme sırasında meydana gelen reaksiyonlar sonucunda galetaların renginde değişiklik yaşanmıştır. Benzer ürün gruplarında tekstürün önemli göstergelerinden olan sertlik değerinin et tozu katkılı örneklerde azaldığı tespit edilmiştir. Yeni geliştirilen galeta formülasyonunun kabul edilebilirliği duyu analizi yardımı ile saptanmış ve panelist grup tarafından kontrol örneğine kıyasla düşük bulunmuştur. Sonuç olarak kurutulmuş et tozu içeren örnekler besleyici değer bakımından kontrole göre üstün bulunmakla birlikte, fiziksel ve duyu özellikleri açısından iyileştirmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışma, demir

biyoerişilebilirliği artırılmış, protein içeriği yüksek tahıl bazlı atıştırmalık eldesini sağlamıştır. Ürünün teknolojik ve duyu özelliklerini geliştirerek kabul edilebilirliğini artıracak çalışmaların planlanması yararlı olacaktır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI BEYANI

Makale yazarları, bu araştırma çalışması ile ilgili başka kişiler ve/veya kurumlar arasında çıkar çatışması bulunmadığını beyan etmektedir.

YAZAR KATKILARI

Ergun KÖSE çalışmanın tasarımı, deneme deseninin oluşturulması, çalışmanın yürütülmesi ve makale redaksiyonu; Özlem ÇAĞINDI metodoloji, verilerin değerlendirilmesi, makale yazım ve redaksiyonu; Emine ERDAĞ AKCA çalışma üretimi ve analizlerinin gerçekleştirilmesi, veri analizi, raporlama ve yazım konularında katkı sağlamıştır. Tüm yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Manisa Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'nce maddi olarak desteklenmiştir (Proje No: BAP-2019-169).

KAYNAKLAR

Abbaspour, N., Hurrell, R., Kelishadi, R. (2014). Review on iron and its importance for human health. *Journal of research in medical sciences: the official journal of Isfahan University of Medical Sciences*, 19(2), 164.

Agengo, F.B., Onyango, A.N., Serrem, C.A., Okoth, J. (2020). Effect of Fortification with Snail Meat Powder on Physicochemical Properties and Shelf-life of Sorghum-wheat Buns. *Current Nutrition & Food Science*, 16(5), 749-756.

Albayrak, B.B., Tuncel, N.B., Kocabıyık, H. (2021). Bazı İntant Gıdaların Üretiminde İnfrared Kurutmanın Etkisi. *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*, 7(1), 100-113.

Alegria-Torán, A., Barberá-Sáez, R., Cilla-Tatay, A. (2015). Bioavailability of minerals in foods. *Handbook of mineral elements in food* Ed.:

- Miguel de la Guardia, Salvador Garrigues, John Wiley Sons, UK, 41-67
- Anonim (2010). TS EN ISO 712, Tahıl ve Tahıl Ürünleri- Rutubet Muhtevası Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Anonim (2010a) .TS EN ISO 2171, Tahıllar, Baklagiller ve Yan Ürünleri Yakılarak Kül Muhtevasının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), (1990). Method 963.15: Official Methods of Analysis of AOAC International, Washington, DC.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists), (1995). Method 960.52. Official Methods of Analysis of AOAC International., Washington, DC.
- Aykın, E., Erbaş, M. (2016). Quality properties and adsorption behavior of freeze-dried beef meat from the Biceps femoris and Semimembranosus muscles. *Meat science*, 121, 272-277.
- Barışık, D., Tavman, Ş. (2018). Glütensiz ekmek formülasyonlarında nohut unu kullanımının ekmeğin kalitesi üzerine etkisi. *Akademik Gıda*, 16(1), 33-41.
- Brodkorb, A., Egger, L., Alminger, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., ... Recio, I. (2019). INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature protocols*, 14(4), 991-1014.
- Bryszewska, M.A. (2019). Comparison study of iron bioaccessibility from dietary supplements and microencapsulated preparations. *Nutrients*, 11(2), 273.
- De la Guardia, M., Garrigues, S. (2015) Handbook of mineral elements in food. Ed.: Miguel de la Guardia and Salvador Garrigues, Wiley Blackwell, United Kingdom, 766 s.
- Diego Quintaes, K., Barberá, R., Cilla, A. (2017). Iron bioavailability in iron-fortified cereal foods: The contribution of in vitro studies. *Critical reviews in food science and nutrition*, 57(10), 2028-2041.
- Fujihara, S., Sasaki, H., Aoyagi, Y., Sugahara, T. (2008). Nitrogen-to-protein conversion factors for some cereal products in Japan. *Journal of food science*, 73(3), C204-C209.
- Gharibzahedi, S.M.T., Jafari, S.M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, 62, 119-132.
- Godswill, A.G., Somtochukwu, I.V., Ikechukwu, A.O., Kate, E.C. (2020). Health benefits of micronutrients (vitamins and minerals) and their associated deficiency diseases: A systematic review. *International Journal of Food Sciences*, 3(1), 1-32.
- Güven, Ö. (2016). Extrüzyon işleminin enginar yaprağı tozunda bulunan biyoaktif bileşenlere ve in vitro biyoerişilebilirliklerine etkisi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara, Türkiye, 92 s.
- Harris, E.D. (2014). *Minerals in food: Nutrition, metabolism, bioactivity*. DESTech Publications, Inc., Lancaster, Pennsylvania, U.S.A.
- Huma, N., Salim-Ur-Rehman, Anjum, F.M., Murtaza, M.A., Sheikh, M.A. (2007). Food fortification strategy—preventing iron deficiency anemia: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 47(3), 259-265.
- İncedayi, B., Tamer, C.E., Sınır, G.Ö., Suna, S., Çopur, Ö.U. (2016). Impact of different drying parameters on color, β -carotene, antioxidant activity and minerals of apricot (*Prunus armeniaca* L.). *Food Science and Technology*, 36, 171-178.
- Karaağaoğlu, N., Mercanlıgil, S.M., Başoğlu, S. (1993). Özel Amaçlı Bisküvi, Galeta, Grissini, Etimек Gibi Tahıl Ürünlerinin Besin Değerleri: Protein, Yağ, Nem, Kül, Karbonhidrat ve Enerji Miktarları. *Beslenme ve Diyet Dergisi*, 22(2), 229-242.
- Ktenioudaki, A., Chaurin, V., Reis, S.F., Gallagher, E. (2012). Brewer's spent grain as a functional ingredient for breadsticks. *International journal of food science & technology*, 47(8), 1765-1771.

- Mackie, A., Rigby, N. (2015). InfoGest consensus method. *The Impact of Food Bioactives on Health*, 13-22.
- Marchetti, L., Califano, A.N., Andres, S.C. (2018). Partial replacement of wheat flour by pecan nut expeller meal on bakery products. Effect on muffins quality. *LWT*, 95, 85-91.
- Menezes, E.A., Oliveira, A.F., França, C.J., Souza, G.B., Nogueira, A.R.A. (2018). Bioaccessibility of Ca, Cu, Fe, Mg, Zn, and crude protein in beef, pork and chicken after thermal processing. *Food Chemistry*, 240, 75-83.
- Mishra, B., Mishra, J., Pati, P., Rath, P. (2017). Dehydrated Meat Products—A Review. *Int. J. Livest. Res.*, 7, 10-22.
- Nawaz, A., Khalifa, I., Walayat, N., Lorenzo, J. M., Irshad, S., Ahmed, S., ... Li, E. (2021). Whole fish powder snacks: Evaluation of structural, textural, pasting, and water distribution properties. *Sustainability*, 13(11), 6010.
- Nwabor, O. F., Onyeaka, H., Miri, T., Oibileke, K., Anumudu, C., Hart, A. (2022). A cold plasma technology for ensuring the microbiological safety and quality of foods. *Food Engineering Reviews*, 1-20.
- Özgören, E., Kaplan, H.B., Tüfekçi, S. (2018). Chia Tohumu Kullanılarak Zenginleştirilen Galetaların Bazı Kimyasal ve Fiziksel Özellikleri. *Food and health*, 4(2), 140-146.
- Petchoo, J., Jitinandana, S., Tuntipopipat, S., Ngampeerapong, C., Tangsuphoom, N. (2021). Effect of partial substitution of wheat flour with resistant starch on physicochemical, sensorial and nutritional properties of breadsticks. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(4), 1750-1758.
- Prim, S.R., Folgueras, M.V., De Lima, M.A., Hotza, D. (2011). Synthesis and characterization of hematite pigment obtained from a steel waste industry. *Journal of hazardous materials*, 192(3), 1307-1313.
- Ramos, A., Cabrera, M.C., Saadoun, A. (2012). Bioaccessibility of Se, Cu, Zn, Mn and Fe, and heme iron content in unaged and aged meat of Hereford and Braford steers fed pasture. *Meat Science*, 91(2), 116-124.
- Savarino, G., Corsello, A., Corsello, G. (2021). Macronutrient balance and micronutrient amounts through growth and development. *Italian Journal of Pediatrics*, 47(1), 1-14.
- SPSS 24.0, (2015). Statistical Package for the Social Sciences. Chicago, IL, USA: IBM.
- Şensu, E. (2018). Bayburt'a Özgü Üç Farklı Berberis ve Hippophae Rhamnoides Bitkilerinin Biyoaktif Bileşiklerinin, Biyoaktivitelerinin Ve İn Vitro Biyoyararlılıklarının Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Türkiye, 143 s.
- Thakur, N., Raigond, P., Singh, Y., Mishra, T., Singh, B., Lal, M.K., Dutt, S. (2020). Recent updates on bioaccessibility of phytonutrients. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 366-380.
- Tomasevic, I., Djekic, I., Font-i-Furnols, M., Terjung, N., Lorenzo, J. M. (2021). Recent advances in meat color research. *Current Opinion in Food Science*, 41, 81-87.
- Toor, M.D., Adnan, M., Rehman, F.U., Tahir, R., Saeed, M. S., Khan, A.U., Pareek, V. (2021). Nutrients and their importance in agriculture crop production; A review. *Ind. J. Pure App. Biosci.*, 9(1), 1-6.
- Uysal, H., Bilgiçli, N., Elgün, A., İbanoğlu, Ş., Herken, E.N., Demir, M.K. (2007). Effect of dietary fibre and xylanase enzyme addition on the selected properties of wire-cut cookies. *Journal of Food Engineering*, 78(3), 1074-1078.
- Van Campen, D. R., Glahn, R. P. (1999). Micronutrient bioavailability techniques: accuracy, problems and limitations. *Field Crops Research*, 60(1-2), 93-113.
- Waliszewski, K.N., Garcia, R.H., Ramirez, M., Garcia, M.A. (2000). Polyphenol oxidase activity in banana chips during osmotic dehydration. *Drying Technology*, 18(6), 1327-1337.

WHO, (2004). World Health Organization. *Vitamin and mineral requirements in human nutrition*. World Health Organization.

Wyness, L. (2016). The role of red meat in the diet: nutrition and health benefits. *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 227-232.

Yalçın, S.S., Pekcan, G., Tezel, B., Köksal, E., Özbas, E., Yurdakök, K., Tunç, B. (2009). 12-23 aylık çocuklarda demir kullanım araştırması raporu. *Ankara: Ana Çocuk Sağlığı Aile Planlaması Genel Müdürlüğü Matbaası*.