

GIDA SEKTÖRÜ İÇİN ALTERNATİF BİR TAHIL OLARAK FONIONUN (*Digitaria Spp.*) ÖZELLİKLERİ

Mahir Serdar YILMAZ^{1*}

¹Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Gıda İşleme Bölümü, Adıyaman, Türkiye. ORCID ID: 0000-0003-3748-0389

*Sorumlu Yazar: serdaryilmaz@adiyaman.edu.tr

Geliş (Received): 14.09.2023

Kabul (Accepted): 21.12.2023

ÖZET

Dünya toplumları, tahıl mahsullerine bağımlı olmaya ve tahıl kökenli gıdalardan beslenmeye devam etmektedir. Küresel bazda yaygın olarak yetiştirilip tüketilen mısır, buğday ve pirinç gibi tahıl ürünlerinin yanında nadir tahıllar olarak adlandırılan bazı türler de, yoksul toplumların gıda temininde önemli bir rol oynamaktadır. Fonio tahılı tek yıllık bir bitki olup Poaceae familyasına aittir. Batı Afrika kökenli küçük tohumlu bir tahıl olan fonio bölge halkı için hayati bir besin kaynağıdır. Beyaz fonio acha (*Digitaria exilis*) ve siyah fonio iburu (*Digitaria iburua*) olmak üzere iki fonio çeşidi yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bir tahıl olarak yakın zamanda tanınan fonio, araştırmacıların ilgisini çeken büyük bir potansiyel ve önemli besinsel özellikler sunmaktadır. Bu tahılın besin bileşimi ve işleme özellikleri diğer tahıllarınkine benzerdir. Ayrıca fonio tahılı, çeşitli gıda formülasyonlarında kullanıldığında buğday ve pirinç gibi başlıca tahılların sunduğu özellikleri tamamlama kapasitesine sahiptir. Gıda endüstrisinde sağlıklı gıda anlayışına uygun yeni tip ürünler ve fonksiyonel nitelikte gıdalar, son dönem araştırmalarında önemli bir yere sahiptir. Bu nedenle, fonio gibi unutulmuş veya yeterince tanınmamış tahılların, bu bağlamda önemli bir potansiyeli vardır.

Bu çalışma, fonio tahılının kimyasal, fizikokimyasal ve besinsel özelliklerinin bir özetini sunarken, farklı gıda ürünlerinde uygulanmasına ilişkin araştırmalardan elde edilen veri ve bulguları içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Fonio, *Digitaria spp.*, tahıl, darı, gıda sektörü

PROPERTIES OF FONIO (*Digitaria spp.*) AS AN ALTERNATIVE GRAIN FOR THE FOOD INDUSTRY

ABSTRACT

Global societies continue to depend on cereal crops and rely on cereal-based foods. In addition to cereal crops such as maize, wheat and rice, which are widely grown and consumed globally, some so-called rare cereals play an important role in the food supply of poor communities. Fonio grain is an annual plant and belongs to the Poaceae family. A small-seeded cereal originating from West Africa, fonio is a vital food source for the people of the region. Two varieties of fonio, white fonio acha (*Digitaria exilis*) and black fonio iburu (*Digitaria iburua*), are widely used. Recently recognized as a cereal, fonio offers great potential and important nutritional properties that have attracted the interest of researchers. The nutritional composition and processing properties of this cereal are similar to those of other cereals. Moreover, fonio grain has the capacity to complement the properties offered by major cereals such as wheat and rice when used in various food formulations. In the food industry, new types of products and functional foods that fit the concept of healthy food have an important place in recent research. Therefore, forgotten or under-recognized cereals such as fonio have a significant potential in this aspect.

This study provides a summary of the chemical, physicochemical and nutritional properties of fonio cereal and includes data and findings from research on its application in different food products.

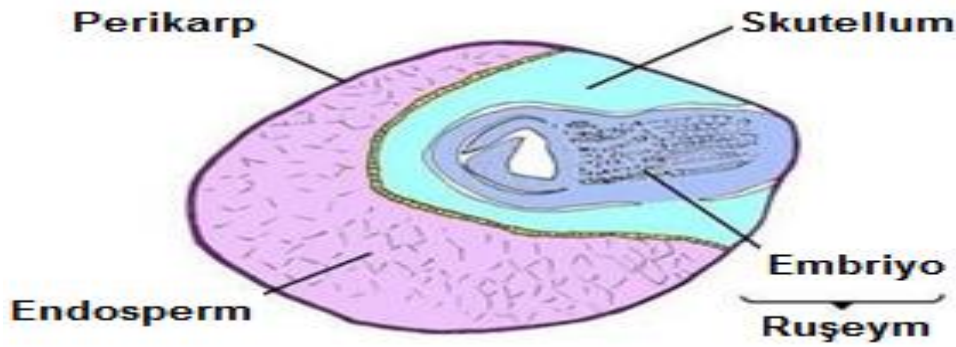
Keywords: Fonio, *Digitaria spp*, grain, millet, food industry

1. GİRİŞ

Tahıllar, Poaceae familyasının yenilebilir tohumlarıdır. İnsanoğlu tarafından yetiştirilen en eski tarımsal ürünler olarak kabul edilen tahıllar dünya çapında yaygın olarak yetiştirilmekte ve tüketilmektedir. Buğday, pirinç, çavdar, yulaf, arpa, mısır, tritikale, darı ve sorgum gibi çeşitli tahıl türleri farklı coğrafyalarda yetiştirilebilirken özellikle buğday ve pirinç, dünya tahıl üretiminin %50'sinden fazlasını oluşturmaktadır (Karaoğlu ve Kotancılar, 2001).

Tüm tahıllar, bol miktarda bulunabilmeleri, yüksek enerji ve besin içerikleri, hoş giden lezzet profilleri ve farklı tip gıdalarda uygulanabilirlikleri nedeniyle hem gelişmiş hem de gelişmekte olan toplumlar için beslenme alışkanlıklarında önemli bir yere sahiptirler (Elgün ve Ertugay, 1997). Bununla birlikte, artan beslenme bilinci ve sağlık endişeleri bireyleri alternatif tahıllar ve tahıl benzeri ürünleri aramaya sevk etmiştir (Meral ve Kılınççeker, 2022). Poaceae familyasına ait tek yıllık bir bitki olan fonio (*Digitaria spp*) bu tahıllardan biridir (Karahan ve ark., 2019).

Fonio, *Digitaria* cinsi çim ailesine ait olup kapalı taneli tek çenekli bir bitkidir. Kabuklu tane endosperm, perikarp ve rüşeym olmak üzere üç ana bileşenden oluşur (Şekil 1). Nişasta bakımından zengin bir katman olan endosperm, çekirdeğin ana yapısını oluşturur. Çapları 3-13 µm arasında değişen çok yüzlü ve çok köşeli nişasta granüllerinden oluşan endosperm, bir protein matrisi ile birbirine bağlanmıştır. Endosperm ve embriyoya bitişik olan rüşeym bol miktarda lipid, protein grupları ve fitik asit içerir (Ballogou ve ark., 2013).



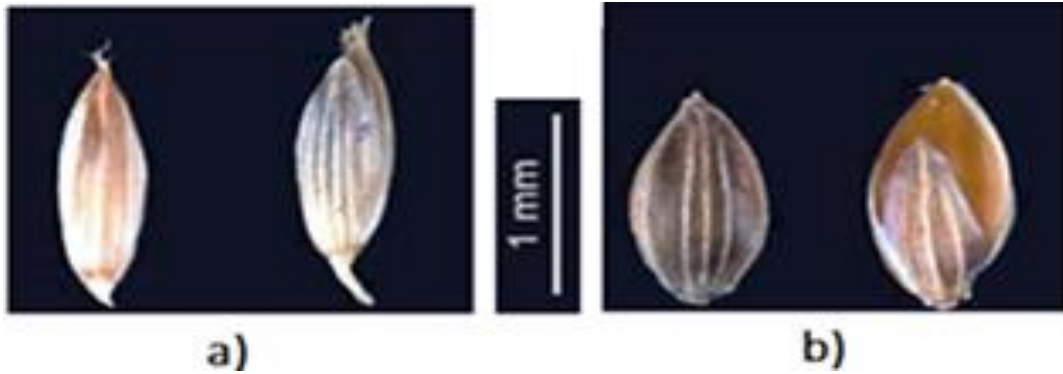
Şekil 1. Fonio tanesinin enine kesiti (Cruz ve Béavogui, 2016).

Batı Afrika'daki Sahra ülkelerine özgü bir ürün olan fonio, batıda Senegal'den doğuda Çad Gölü'ne kadar, 8° ila 14° N enlemleri arasında yayılış göstermektedir (Diop ve ark., 2018). Yetiştirilme kolaylığı, güzel tadı ve yüksek besin değeri nedeniyle bu tahılın uzun bir ekim geçmişi vardır ve pirinç, buğday, mısır, sorgum ve darıdan sonra Afrika'daki en önemli altıncı tahıl olarak kabul edilir. Gıda ve Tarım Örgütü'ne (FAO) göre başta Nijerya, Gine, Benin ve Togo dahil olmak üzere Batı Afrika'nın belli bölgelerinde bulunan fonio birçok toplumda "yaşam tahılı" olarak adlandırılmaktadır (Echendu ve ark., 2009). Küresel olarak 890.000 hektar alanda yaklaşık 700.000 ton üretimi yapılan fonio üretiminde, Gine dünya lideridir ve toplam arzın %73'ünü karşılamaktadır (FAO, 2021).

Buğday ve pirinç gibi başlıca tahıllarla karşılaştırıldığında, fonio bugüne kadar yetiştirildiği bölgelerin sınırlı coğrafi alanlar olması, uluslararası tarımsal ticaret ile pek bağ oluşmaması ve gıda uygulamaları için potansiyelinin pek bilinmemesi sebebiyle yeterince tanınmayan bir tahıl olmuştur (Mbosso ve ark., 2020). ABD Bilimler Akademisi 1974 yılında, ekonomik değeri olup yeterince kullanılmayan Afrika tropik bitkileri listesine fonioyu dahil etmiş ve 19 Aralık 2018 tarihli L 323/1 sayılı AB Yönetmeliği ile Avrupa'da "Novel Food - Yeni Gıda" olarak ticari onay almıştır (URL-2, 2018; Zhu, 2020).

Fonio, yetiştirildiği toplulukların dillerinde acha, pene, petit mil ve fundi gibi farklı yaygın isimlerle anılmaktadır. Yarı kurak tropik Afrika savan bölgelerinde yetiştirilen fonio, yerel toplulukların besleyici ve lezzetli olarak kabul ettiği bir tahıldır. Genellikle lapa, kuskus, pilav türleri, ekmek ve bira yapımında kullanılan fonio, düğünler, vaftizler, kurban törenleri ve cenazeler gibi geleneksel etkinliklerde başlıca yemek olarak kullanıldığı için önemli bir kültürel değere de sahiptir (Diop ve ark., 2018).

Fonio'nun iki türü olan *Digitaria exilis* ve *Digitaria iburua* yaygın olarak tüketilmektedir. *Digitaria exilis* açık sarı-kahverengi bir tohum kabuğu rengine sahiptir ve genellikle "beyaz fonio-acha" olarak bilinir. *Digitaria iburua* ise daha koyu bir tohum kabuğuna sahiptir, genellikle "siyah fonio-iburu" olarak adlandırılır (Chukwu ve Abdulkadir, 2008) (Şekil 2).



Şekil 2. (a) *Digitaria exilis*, (b) *Digitaria iburua* (Adoukonou-Sagbadja ve ark., 2007)

Fonio, sıcak, kuru iklimlere ve besin açısından fakir, kumlu ve asidik topraklara yüksek adaptasyon gösterir ve sınırlı yağış alan kurak savanlarda ürün verebilecek kadar dayanıklıdır. Gübreleme olmadan bile yetişebilir ve büyüme aşamasında çok az suya ihtiyaç duyar. Bu nedenle toprak erozyonunu ve çölleşmeyi önleme potansiyeline sahiptir. Örneğin, yılda 200-500 mm arasında yetersiz yağış alan bölgelerde ve daha az verimli topraklarda yetiştirilebilir (Adoukonou-Sagbadja ve ark., 2007).

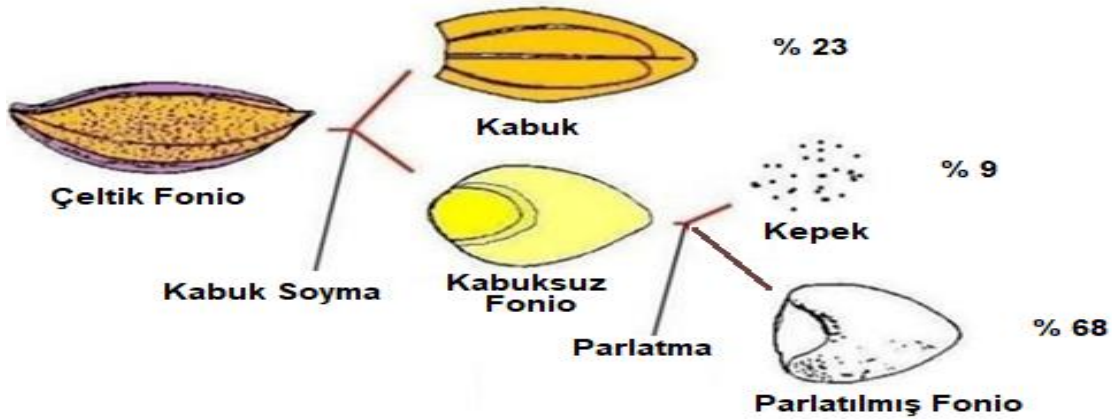
Fonio türleri içinde büyük bir çeşitlilik mevcut olup morfolojisine dayalı olarak birkaç çeşit tanımlanmıştır. Bazı türleri kısa bir yaşam döngüsüne sahip olup, ekimin ardından 6 ila 8 hafta içinde ürün vererek hızla olgunlaşabilirken, diğer türlerin olgunlaşması için 20 haftaya kadar bir süre gerekebilir. Farklı olgunlaşma dönemlerine sahip çeşitlerinin yetiştirilmesi, uzun dönemler boyunca gıda elde etme olasılığını artırır; bu da özellikle yetiştirme koşullarının değişken olduğu bölgelerde çok önemlidir (Koroch ve ark., 2013). Ekim için düşük girdi gerektiren fonio uygun iklim koşullarında yıllık üç defaya varan hasat imkânı sağlar. Tipik olarak 45-50 cm'ye kadar boylanır ve tane oluşumundan 60-120 gün sonra hasat için olgunlaşır (Echendu ve ark., 2009).

Hasat edildikten sonra selüloz bakımından zengin bir kavuz tabakası ile çevrili oval ve yüzeyi eksenlere doğru hafifçe yassı fonio taneleri elde edilir. Kabuklu veya çeltik halindeki taneler, 1.5 ila 1.8 mm uzunluğunda ve yaklaşık 0.9 mm genişliğindedir. Kavuz, tane ağırlığının yaklaşık %23'ünü oluşturur. Soyulmuş tanenin çeşidine bağlı olarak (*Digitaria exilis* ve *Digitaria iburu*) rengi açık sarı-kahverengiden koyu kahverengiye kadar değişen şekillerde camsı ve parlak bir perikarp bulunur. Fonio, bilinen en küçük tahıllardan biri olup 1000 tane ağırlığı yaklaşık 0.3-0.5 g'dır. Bu değerler, diğer tahıllar ve yalancı tahıllardan belirgin biçimde daha düşüktür (Yılmaz, 2023) (Şekil 3).



Şekil 3. Mısır, buğday, pirinç ve fonio taneleri (soldan sağa) (Abrouk ve ark., 2020).

Hasat sonrası, tahıl kabuk ve kavuz ile çevrili olduğundan yenilebilir gıda haline gelmesi için işlenmesi gerekir. Fonionun işlenmesi süreci pirinçte olduğu gibi iki aşamalıdır. İlk aşama, kabuklu tahıl üretmek için çeltik halindeki tanenin dış kabukların uzaklaştırılması işlemidir. İkinci aşama ise kabuklu tahıldan kepek kısmını (perikarp ve ruşeym) uzaklaştırmak amacıyla yapılan beyazlatma-parlatma işlemidir (Şekil 4). Fonio tanesinin kabuğunun soyulması ve parlatılması geleneksel olarak elle yapılır. Tanenin küçük boyutu, hasat sonrası kabuk soyma ve pişirme işlemlerinin zahmetli ve zaman alıcı olmasına neden olur. (2 kg fonio/1 saat) (Vodouhe ve Zannou, 2003).



Şekil 4. Fonio işlenme süreci ve ana/yan ürün yaklaşık oranları (Cruz ve Béavogui, 2016).

2. FONİO'NUN KİMYASAL BİLEŞİMİ VE BESİN ÖZELLİKLERİ

Tüm tahıllar, boyut ve şekil olarak farklı olsalar da besin değeri ve anatomik yapı olarak benzerdir. Tahılların ana bileşenleri olan karbonhidratlar, proteinler, lipitler, mineraller ve vitaminler, insan beslenmesinde büyük önem taşımaktadır. Fonionun nişasta, protein, diyet lifi ve birçok biyoaktif bileşenin kaynağı olması ve gluten içermemesi, çölyak hastaları ve

sağlık bilincine sahip tüketiciler için umut verici bir besin kaynağı olduğunu göstermektedir (Chukwurah ve ark., 2016). Fonio, insan beslenmesinde kullanılan başlıca tahıllarda düşük oranda bulunan iki kritik amino asit olan metionin ve sistein bakımından zengindir (Jideani, 1999). Fonio tahılı, insan gıdası özelliğinin yanında geniş getiren hayvanlarda etkili sindirilebilirlik özelliğinden dolayı besin maddesi gereksinimlerini karşılamak için yem formülasyonunda güvenilir bir bileşendir (Clotey ve ark., 2006).

Küçük boyutu nedeniyle minimum düzeyde işlenen fonio çoğunlukla tam tahıl olarak tüketilir. Bu nedenle sağlığa olumlu etkide bulunan nutrasötik bir gıda olarak değerlendirilir. Tam tahıl haliyle bazı ekmek türlerinde ve yemeklerde kullanılan fonio öğütülmüş haliyle un, malt, alkollü ve alkolsüz içecekler, ekşi maya, ekmek, puding, kraker, bisküvi, kahvaltılık tahıllar, yulaf lapası ve kuskus gibi çeşitli gıda ürünlerinin yapımında kullanılır. Ayrıca, besinsel ve dokusal kaliteyi artırmak için diğer bileşenlerle karıştırılarak çeşitli gıdaların üretiminde de kullanılmaktadır (Deriu ve ark., 2022).

Tablo 1. Fonionun kimyasal bileşenleri ve besin kompozisyonu*

Besin Bileşeni	Miktar	Mineraller (mg/100 g fonio)	Miktar
Enerji değeri (kcal/100 g fonio)	463.7	Kalsiyum	19.70
Karbonhidratlar (%)	79.1	Fosfor	13.42
Nişasta (%)	68	Potasyum	26.53
Amiloz (%)	25.1	Sodyum	4.70
Çözünür şekerler (%)	1	Magnezyum	2.53
Ham lif (%)	5.85	Kükürt	0.16
Protein (%)	8.05	Demir	0.57
Lipit (%)	3.25	Bakır	0.05
Kül (%)	3.5	Manganez	0.03
Vitaminler (mg/100 g fonio)	Miktar	Çinko	0.45
Vitamin B1	0.24	Fitokimyasallar (mg/100 g fonio)	Miktar
Vitamin B2	0.14	Fenolik asitler	134.42
Vitamin B3	2.03	Flavonoidler	3.79
Vitamin B5	0.46	Fitik asit	19.48
Vitamin B6	0.46	Tanen	34.65
Vitamin B9	0.018	Oksalat	80.10
Vitamin E	0.76		

*Yazarlardan alınan veriler derlenerek sunulmuştur. (Serna-Saldivar, (2003); Chukwu ve Abdul-Kadir, (2008); Cruz ve Béavogui, (2016); Sanusi ve ark., (2019); Jocelyne ve ark., (2020)).

Karbonhidratlar: Yapılan çalışmalarda, fonionun ortalama karbonhidrat içeriği %79.1 olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Buna ek olarak, ortalama nişasta içeriği %68 olarak bildirilmiştir. Nişasta yüzdesi sorgum (%73.8) ve pirinç (%77.2) için bildirilenden daha düşüktür (Serna-Saldivar, 2003). Tahıllar, botanik türlere bağlı olarak değişen oranlarda az miktarda çözünür şeker (sakaroz, rafinoz, glukoz ve fruktoz gibi) içerir. Fonionun çözünebilir şeker içeriğinin yaklaşık %1 olduğu bildirilmektedir (Cruz ve Béavogui, 2016).

Proteinler: Fonioda bulunan ortalama ham protein içeriği %8.05'tir (Tablo 1). Fonio ayrıca çoğu tahılda bulunan albümin (%3.5), globulin (%1.8), prolamin (%5.5) ve glutelin (%14) olmak üzere dört protein fraksiyonuna sahiptir. Fonio, sorgum, pirinç, buğday veya arpa gibi başlıca tahıllarda düşük olan metiyonin ve sistein bakımından daha zengindir (Ballogou ve ark., 2013). Ana protein fraksiyonunun glutelinlerden oluşmasına ve buğdaydan daha az

protein içermesine rağmen (%8.6), prolamin grubundan gliadin proteini içermez, bu da çölyak hastaları tarafından kullanım için özellikle uygun bir özelliktir (Karahana ve ark., 2019; Chukwurah ve ark., 2016). Fonio, metionin içeriğinin yumurtadan iki kat daha yüksek olması ve düşük glisemik indeksi (40-70 GI) nedeniyle diyabetli kişiler için uygun bir gıda olarak kabul edilmektedir (Alegbejo ve ark., 2011).

Enerji değeri: Fonio'nun ortalama 463,7 (kcal/100 g) enerji değerine sahip olduğu bildirilmiştir (Tablo 1). Bu değer buğday (329.6 kcal/100 g), pirinç (430 kcal/100 g), mısır (410 kcal/100 g) ve sorgum (399 kcal/100 g) gibi diğer tahıllar için bildirilen değerlerden daha yüksektir (Serna-Saldivar, 2003).

Lipitler: Lipitler, tahıllarda nispeten az miktarda bulunmasına rağmen, esansiyel yağ asitleri bakımından zengin ancak doymuş yağ asitleri bakımından fakirdir. Fonioda bulunan ortalama lipit içeriği %3.25'tir. (Tablo 1). Bu ortalama, sorgum (%3.2) ve pirinçten (%2.5) yüksek, ancak darıdan (%5.1) düşüktür (Serna-Saldivar, 2003).

Lifler: Fonio için tespit edilen ortalama ham lif içeriği kuru maddede %5.85 ve hemiselüloz, selüloz ve lignin içerikleri sırasıyla %3.0, %4.0 ve %0.5'tir. Tam tahıllar, özellikle selüloz ve hemiselüloz olmak üzere zengin bir diyet lifi kaynağı olarak kabul edilir. Fonio, tam tahıl şeklinde kısa süreli tokluk sağlayan, sindirilebilirliği yüksek bir besindir. Lif oranı yüksek bir diyet kardiyovasküler hastalık, kolon kanseri ve diyabet riskini azaltmaya yardımcı olabilir (Cruz ve Béavogui, 2016).

Mineraller: Tahılı kaplayan ve dış etkenlerden koruyan kepek, lif ve mineraller açısından en zengin kısımdır. Fonio tanesi üzerinde yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre kül içeriği %3.5 olarak belirlenmiştir (Tablo 1). Jocelyne ve ark., (2020)'a göre, fonio buğday, mısır ve darıya göre kalsiyum ve çinko bakımından daha zengin bulunmuştur.

Vitaminler: Buğday, pirinç, mısır, yulaf, arpa, darı, sorgum, çavdar, tritikale, fonio vb. tahıllar dünya çapında yaygın olarak yetiştirilmekte ve temel besin maddeleri olarak kullanılmaktadır. Tahıllara uygulanan rafinasyon işlemi besin içeriğini azaltır. Bununla birlikte, tam tahıllar zengin vitamin ve minerallere sahip olduğundan uzmanlar tarafından tüketilmeleri tavsiye edilmektedir (Garg ve ark., 2021). Tahıllar, B₁₂, C ve D vitaminleri açısından iyi bir kaynak olmasalar da A, B₁, B₂, B₃, B₅, B₆, B₉, E ve K vitaminleri açısından zengindirler. Fonionun vitamin içeriği Tablo 1'de verilmiştir.

Fenolik Bileşenler: Tam tahıllar, aleuron, testa ve perikarp katmanlarında bulunan fenolik bileşikler açısından zengin kaynaklardır. Tam tahıllardaki bu fenolik bileşiklerin antioksidan özellikleri, kanser ve kardiyovasküler hastalıklar gibi dejeneratif hastalıklara karşı koruyucu etki göstermelerini sağlar (Meral, 2021; Kilinceker ve Karahana, 2020). Jocelyne ve ark., (2020), yaptıkları çalışmada buğday, mısır ve fonio örneklerinin fenolik asit içeriğini incelemişlerdir. Çalışma sonucuna göre fonio 134.42 mg/100 g, mısır 173.70 mg/100 g ve buğday 136.59 mg/100 g oranlarında fenolik asit içerdiklerini tespit etmişlerdir. Flavonoid içeriği değerleri açısından; fonio 3.79 mg/100 g, mısır 5.70 mg/100 g ve buğday 4.76 mg/100 g şeklinde belirlenmiştir (Tablo 1).

Anti-Besin Bileşikler: Anti-besin bileşikler, besin emilimini engelleyebilen doğal veya sentetik bileşiklerdir. Önemli bir anti-besin maddesi olan fitik asit, tahıllarda, baklagillerde ve yağlı tohumlarda yüksek seviyelerde bulunur. Bu bileşikler minerallere bağlanabilir ve bağırsaklarda emilimlerini engelleyebilir (Özkaya, 2004). Jocelyne ve ark., (2020), yaptıkları çalışmada fitik asit oranları buğdayda 12.01 mg/100 g, mısırdaki 17.93 mg/100 g ve foniodaki 19.48 mg/100 g olarak bulunmuştur. Oksalat oranları buğdayda 84.99 mg/100 g, mısırdaki

116.40 mg/100 g ve fonioda 80.10 mg/100 g olarak bildirilirken, tanen içerikleri ise buğdayda 23.73 mg/100 g, mısırdaki 48.60 mg/100 g ve fonioda 34.65 mg/100 g şeklinde belirlenmiştir.

3. FONİONUN GIDALARDA KULLANIMI VE BAZI BİLİMSEL ÇALIŞMALAR

Fonio tahılı veya unu kullanılarak üretilen bazı gıda maddeleri arasında alkollü ve alkolsüz içecekler, çeşitli bisküvi türleri, fonio ekmeği (hem buğdaylı hem de buğdaysız çeşitleri), fırıncılık ürünleri, fonio unu, tatlı türleri, kahvaltılık gevrekler, makarna ve yulaf lapası yer almaktadır. Fonksiyonel nitelikte olan sağlıklı gıda konseptine uygun formülasyon düzenlemelerinde fonionun tam tahıl hali kullanılarak kahvaltılık müsli, makarna, kraker, bisküvi, kurabiye gibi gıdaların üretimi mümkün olup, özellikle yeni ürün arayışında olan gıda sektörü bu potansiyeli değerlendirebilir. Bu küçük tahıl, karışım tahıl ürünlerinde bir bileşen olarak çok tahıllı ekmeklerde kullanılabilir. Son dönemde özellikle antik tahıl ve yalancı tahıl (ancient-cereals, pseudo-cereals) kullanımını teşvik eden bilimsel araştırmalar ve değerlendirmeleri de göz önüne alırsak, fonionun yeni ürün formülasyonlarında içerik zenginleştirme amacıyla kullanımında büyük bir potansiyelin mevcut olduğu söylenebilir.

Omeire ve ark., (2014), yaptıkları çalışmada fonio unu (*Digitaria exilis*), buğday unu (*Triticum aestivum*) ve soya fasulyesi unu (*Glycine max*) erişte üretmek için çeşitli oranlarda (buğday:fonio:soya) (100:0:0; 50:25:25; 75:25:0; 75:0:25; ve 0:50:50) karıştırılmıştır. Örnekler bileşim, fonksiyonel ve duyuşal özellikler yönünden analiz edilmiştir. Bulgulara göre, formüle edilen numuneler kontrole kıyasla daha yüksek protein, nem, kül ve yağ seviyelerine sahip bulunmuştur. Duyusal değerlendirme, 75:0:25 oranına sahip numunenin daha kabul edilebilir olduğunu ortaya koymuştur.

Chinma ve ark., (2016), fonio unu, bambara fıstığı unu ve buğday unu karışımı ile hazırlanan ekşi hamur içerikli ekmek denemeleri yapmıştır. Fonio-bambara fıstığı unundan elde edilen ekşi hamur tozu karışımı (%0, 5, 10 ve 15) oranlarında buğday unu ile karıştırılarak ekmek üretimi için kullanılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre ekmek özellikleri açısından karışım ekmeğin özgül hacmi, rengi ve dokusu kontrol ekmekten farklı bulunmamıştır. Çalışma sonunda ekmeğe %10'a kadar ekşi mayalı un eklenmesi, buğday ekmeğine kıyasla tat, lezzet ve kabul edilebilirlik puanları açısından uygulanabilir bulunmuştur.

Olagunju ve ark., (2018), fonio unu (*Digitaria spp*) ve güvercin bezelyesi ununu (*Cajanus cajan*) çeşitli oranlarda (0:100, 20:80, 30:70) karıştırarak kraker üretimi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Hazırlanan örneklerin ham lif, kül, yağ ve protein içeriği, karışıma dahil edilen güvercin bezelyesi unu miktarı ile orantılı olarak artış göstermiştir. Örneklerdeki karbonhidrat miktarı, fonio unu miktarı azaldıkça azalmıştır. %30 fonio unu içeren kraker örneği en düşük tahmini glisemik indeks (GI:47.95) değerini vermiştir.

Švec ve Hrušková (2018), fonio unu ve ekmeklik buğday unu ile yapılan ekmeğin kalitesini incelemiştir. Fonio ununu buğday unu ile üç seviyede (%2.5, 5 ve 10 fonio unu) karıştırmışlardır. Farinograf testi, fonio unu ilavesinin hamur stabilitesini 12.0 dakikadan 3.5 dakikaya düşürdüğünü ortaya koymuştur. Öte yandan, %2.5 oranında fonio unu ilavesi hamur stabilitesini önemli ölçüde azaltmıştır. Aynı oranda ilaveyle ekmek hacmi 337'den 402 ml/100 g'a yükselmiştir. Çalışmanın sonucunda hem hamur işlenebilirliği hem de ekmek kalitesi üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle %2.5 ila %5 oranında fonio unu ilave edilmesi önerilmiştir.

Orisa ve Udofia, (2019), buğday (*Triticum durum*), fonio (*Digitaria exilis*), börülce (*Vigna unguiculata*) unları ve *Moringa oleifera* yaprak tozu (MLP) karışımlarından yapılan eriştenin

bileşen değerleri ile mineral ve duyuşal özelliklerini incelemiştir. Dört bileşenli karışımlar oluşturularak toplam 16 farklı numune elde edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, eriştelerde, nem, kül, yağ, ham protein ve diyet lifi değerlerinin bürölce unu, fonio unu ve MLP kullanımı ile belirgin bir artış tespit edilmiştir. Mineral analizleri, özellikle %75 buğday ve %25 bürölce unundan yapılan eriştinin, diğler örneklerden daha yüksek mineral içeriğine sahip olduğunu göstermiştir. Duyusal test sonuçları, buğday ununun %50'sinin fonio unu ve bürölce unu ile ikame edilebileceğini göstermiştir.

Babarinde ve ark., (2020), kahvaltılık gevrek üretmek için fonio (*Digitaria spp*) ve güvercin bezelyesi (*Cajanus cajan*) unlarını çeşitli oranlarda (%0, 5, 10, 15 ve 20 fonio unu) karıştırmışlardır. Elde edilen ürün daha sonra nem, protein, yağ, kül, ham lif, enerji, vitaminler, mineraller ve amino asitler açısından değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler nem, protein, yağ, kül ve ham lif içeriğinde artış, karbonhidrat ve enerji değerlerinde ise düşüş olduğunu göstermiştir. Vitamin ve mineral değerlerine göre %20'lik karışım daha üstün sonuçlar vermiştir. Duyusal testler standart kahvaltılık gevreğe göre önemli bir farklılık göstermemiştir. Çalışma sonucunda, fonio unu ve güvercin bezelyesi unu kombinasyonunun %20 oranında kahvaltılık gevrekler besin değerlerinin artırılması amacıyla eklenebileceği bildirilmiştir.

Malomo ve Abiose (2020), fonio ve soya fasulyesi ilavesinin, mısırla yapılan geleneksel bir Nijerya yemeği olan waina'nın besinsel ve duyuşal özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Mısır, fonio ve soya fasulyesi sırasıyla 100:0:0, 0:100:0, 70:20:10, 60:30:10, 60:20:20, 50:40:10, 50:30:20, 40:40:20 oranlarında karıştırılmıştır. Waina'nın nem, ham protein, ham yağ, toplam kül, ham lif ve karbonhidrat içerikleri sırasıyla %17.10 - 23.80, %6.86 - 10.67, %12.78 - 18.78, %0.58 - 1.24, %0.79 - 1.07 ve %42.95 - 61.89 arasında değişmiştir. Ham protein, toplam kül ve ham yağ içeriği soya fasulyesi ikamesindeki artışla birlikte yükselmiştir. %100 fonio örneğinde en yüksek kalsiyum, magnezyum ve demir içeriği tespit edilmiştir.

4. SONUÇ

Nüfus artışı ve iklim değişikliği nedeniyle gıda üretimi birçok zorlukla karşı karşıya olduğundan, besin açısından zengin gıdalar sunan yerli ve yeni bitkilerin ve bitkisel ürünlerin kullanıma sunulması gıda güvenliğini destekleyebilir, gelir yaratabilir ve olası gıda temin sıkıntılarıyla mücadelede avantajlar sunabilir. Oldukça eski bir geçmişi olan fakat pek fazla bilinmeyen bir tahıl türü olan fonio yeni tür gıda arayışlarına cevap verebilecek bir potansiyele sahiptir.

Fonio, Batı Afrika kökenli olup dayanıklı bir yapıya, besleyici özelliklere ve özellikle kurak çevre koşullarında gelişme yeteneğine sahip bir tahıl türüdür. Geleneksel bir diyet bileşeni olarak Batı Afrika'da uzun süredir tüketilen bu tahıl, metiyonin ve sistein gibi temel amino asitleri içeren önemli bir protein kaynağıdır. Ayrıca, demir, magnezyum ve çinko gibi yüksek mineral içeriğine sahiptir ve düşük glisemik indeksi diyabetli bireyler için avantajlıdır. Bu faydalarına rağmen, fonio'nun küresel olarak kabul görmesi kısıtlı coğrafi dağılımı nedeniyle sınırlı kalmıştır. Küresel pazarlara açılması, birim alandan daha fazla verim alınması, üretim süresinin kısaltılması ve depolama koşullarının iyileştirilmesi için seleksiyon ve ıslah çalışmalarına daha fazla ağırlık verilmesini gerektirmektedir.

Fonio, besleyici gıdalara yönelik artan küresel talebi karşılama ve ekonomik getiri sağlamak için büyük bir potansiyele sahiptir. Fonio, fakir toprak koşullarına adapte olduğu için diğler tahıllar için uygun olmayan alanlarda avantaj sağlayabilir. Ülkemizin kurak ve sert iklim

koşullarına sahip, sulama imkânlarının kısıtlı olduğu bölgelerinde fonio ve benzeri tahılların yetiştirilmesine yönelik tarımsal ıslah çalışmaları, gıda sektöründe yenilikçi ürünlerin ortaya çıkmasını sağlayabilir. Fonio üzerine yapılacak kapsamlı araştırmalar, tahılın bileşen özellikleri, işlevselliği ve potansiyel uygulamaları hakkındaki bilgi verebilir. Tıpkı pirinç ve buğday gibi diğer tahıllarda olduğu gibi, fonionun işlevsel niteliklerini büyük ölçekte sergilemek için çeşitli işleme yöntemlerinin (yüksek basınç, ozon, soğuk plazma ve ultrason gibi) kullanılması gıda endüstrisi için avantaj sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Abrouk, M., Ahmed, H.I., Cubry, P., Šimoníková, D., Cauet, S., Pailles, Y., Bettgenhaeuser, J., Gapa, L., Scarcelli, N., Couderc, M., Zekraoui, L., Kathiresan, N., Čížková, J., Hřibová, E., Doležel, J., Arribat, S., Bergès, H., Wieringa, J.J., Gueye, M., Krattinger, S.G. (2020). Fonio millet genome unlocks African orphan crop diversity for agriculture in a changing climate. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18329-4>
- Adoukonou-Sagbadja, H., Wagner, C., Dansi, A., Ahlemeyer, J., Daïnou, O., Akpagana, K., Ordon, F., Friedt, W. (2007). Genetic diversity and population differentiation of traditional fonio millet (*Digitaria spp.*) landraces from different agro-ecological zones of West Africa. *Theoretical and Applied Genetics*, 115(7), 917–931. <https://doi.org/10.1007/s00122-007-0618-x>
- Alegbejo, J., Ameh, D.A., Ogala, W., Ibrahim, S. (2011). Glycaemic Index and Load of Acha (Fonio) in Healthy and Diabetic Subjects. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 5, 117–122.
- Babarinde, G.O., Adeyanju, J.A., Ogunleye, K.Y., Adegbola, G.M., Egun, A.A., Wadele, D. (2020). Nutritional composition of gluten-free flour from blend of fonio (*Digitaria iburua*) and pigeon pea (*Cajanus cajan*) and its suitability for breakfast food. *Journal of Food Science and Technology*, 57(10), 3611–3620. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04393-7>
- Ballogou, V.Y., Soumanoud, M.M., Toukourou, F., Hounhouigan, J.D. (2013). Structure and Nutritional Composition of Fonio (*Digitaria exilis*) Grains: A Review. *Int Res J Biol Sci. Published Online*, 2(1), 73–79.
- Chinma, C.E., Anuonye, J.C., Ocheme, O.B., Abdullahi, S., Oni, S., Yakubu, C.M., Azeez, S.O. (2016). Effect of acha and bambara nut sourdough flour addition on the quality of bread. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 70, 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.050>
- Chukwu, O., Abdul-Kadir, A.J. (2008). Proximate Chemical Composition of Acha (*Digitaria exilis* and *Digitaria iburua*) Grains. *Journal of Food Technology*, 6, 214–216.
- Chukwurah, P.N., Uyoh, E.A., Usen, I.N., Ekerette, E.E., Ogonna, N.C. (2016). Assessment of intra and inter species variation in antioxidant composition and activity in marginalized Fonio millet (*Digitaria spp.*). *Journal of Cereals and Oilseeds*, 7(1), 1-6 <https://doi.org/10.5897/JCO2016.0146>
- Clottey, V.A., Avornyo, F., Addo-Kwafo, A., Agyare, W.A. (2006). The potential of fonio (*Digitaria exilis*, Stapf) as feed for monogastrics. *Livestock Research for Rural Development*, 18, 7.

- Cruz, J.F., Béavogui, F. (2016). *Fonio, an African cereal*. CIRAD.
- Deriu, A.G., Vela, A.J., Ronda, F. (2022). Techno-functional and gelling properties of Acha (fonio) (*Digitaria exilis stapf*) flour: A study of its potential as a new gluten-free starch source in industrial applications. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(2), 183. <https://doi.org/10.3390/foods11020183>
- Diop, B.M., Gueye, M.C., Agbangba, C.E., Cisse, N., Deu, M., Diack, O., Fofana, A., Kane, N.A., Ndir, K.N., Ndoye, I., Ngom, A., Leclerc, C., Piquet, M., Vigouroux, Y., Zekraoui, L., Billot, C., Barnaud, A. (2018). Fonio (*Digitaria exilis (kippist) stapf*): A socially embedded cereal for food and nutrition security in Senegal. *Ethnobiology Letters*, 9(2), 150–165. <https://doi.org/10.14237/eb1.9.2.2018.1072>
- Echendu, C.A., Obizoba, I.C., Anyika, J.U., Ojmelukwe, P.C. (2009). Changes in chemical composition of treated and untreated hungry rice “Acha” (*Digitaria exilis*). *Pakistan Journal of Nutrition: PJN*, 8(11), 1779–1785. <https://doi.org/10.3923/pjn.2009.1779.1785>
- Elgün, A., Ertugay, Z. (1997). Tahıl İşleme Teknolojisi, Atatürk Üniv. Ziraat Fak. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yayınları (Ders Notları)*, 3(297).
- FAO, (2021). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> Erişim tarihi: 12.10.2023
- Garg, M., Sharma, A., Vats, S., Tiwari, V., Kumari, A., Mishra, V., Krishania, M. (2021). Vitamins in cereals: A critical review of content, health effects, processing losses, bioaccessibility, fortification, and biofortification strategies for their improvement. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.586815>
- Jideani, I.A. (1999). Traditional and possible technological uses of *Digitaria exilis* (acha) and *Digitaria iburuua* (iburu): A review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 54(4), 363–374. <https://doi.org/10.1023/a:1008193503688>
- Jocelyne, R.E., Béhiblo, K., Ernest, A.K. (2020). Comparative study of nutritional value of wheat, maize, sorghum, millet, and fonio: Some cereals commonly consumed in Côte d’Ivoire. *European Scientific Journal*, 16(21). <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n21p118>
- Karahan, A.M., Köten, M., Akın, M.B. (2019). Fonio: Bileşimi, Özellikleri ve Gıdalarda Kullanımı. *International Engineering and Science Symposium*, 523–527.
- Karaoğlu, M.M., Kotancılar, H.G. (2001). Tahıl ürünlerinin sağlığımız açısından önemi. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(1), 101-108.
- Kilincceker, O., Karahan, A.M., 2020. The effect of buckwheat flour on some quality properties of chicken meatballs as an alternative to wheat flour. *Carpathian J. of Food. Sci. And Technol.*, 12 (4): 155-164. <https://doi.org/10.34302/crpjfst/2020.12.4.16>
- Koroch, A.R., Juliani, H.R., Simon, J.E. (2013). Nutritional value of fonio (*Digitaria exilis*) from Senegal. In *African Natural Plant Products Volume II: Discoveries and Challenges in Chemistry, Health, and Nutrition* (pp. 127–133). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2013-1127.ch010>
- Liu, R.H. (2007). Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.010>
- Malomo, A., Abiose, S. (2020). The effect of the substitution of acha (*Digitaria exilis*) and soybean on the chemical composition and sensory properties of maize masa. *Croatian*

Journal of Food Science and Technology, 12(1), 101–109.
<https://doi.org/10.17508/cjfst.2020.12.1.13>

- Mbosso, C., Boulay, B., Padulosi, S., Meldrum, G., Mohamadou, Y., Berthe Niang, A., Coulibaly, H., Koreissi, Y., Sidibé, A. (2020). Fonio and Bambara groundnut value chains in Mali: Issues, needs, and opportunities for their sustainable promotion. *Sustainability*, 12(11), 4766. <https://doi.org/10.3390/su12114766>
- Meral, R. (2021). Determination of thermal, molecular changes, and functional properties in stabilized rice bran. *International Journal of Food Engineering*, 17(4), 247–256. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2020-0168>
- Meral, R., Kılınççeker, O., (2022). Kinoa (*Chenopodium quinoa* wild.) ununun soğukta depolanan pişmemiş tavuk köftelerin tekstür profiline etkisi. *Adyütayam*, 10 (1): 46-52.
- Olagunju, A.I., Omoba, O.S., Enujiugha, V.N., Aluko, R.E. (2018). Development of value-added nutritious crackers with high antidiabetic properties from blends of Acha (*Digitaria exilis*) and blanched Pigeon pea (*Cajanus cajan*). *Food Science Nutrition*, 6(7), 1791–1802. <https://doi.org/10.1002/fsn3.748>
- Omeire, G.C., Umeji, O.F., Obasi, N.E. (2014). Acceptability of noodles produced from blends of wheat, Acha and soybean composite flours. *Nigerian Food Journal*, 32(1), 31–37. [https://doi.org/10.1016/s0189-7241\(15\)30093-x](https://doi.org/10.1016/s0189-7241(15)30093-x)
- Orisa, C.A., Udofia, U.S. (2019). Proximate and Mineral Compositions of Noodles Made from Triticum durum, Digitaria exilis, Vigna unguiculata Flour and Moringa oleifera Powder. *Journal of Food Science and Engineering*, 9(7). <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2019.07.003>
- Özkaya, B. (2004). Ekmeğin fitik asit miktarına çeşit ve ekstraksiyonun etkisi. *Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri*. Ankara Üniversitesi.
- Sanusi, S.N., Sulaiman, S.A., Bako, H.K. (2019). Comparative of proximate and mineral composition of commercially-available millet types in Katsina metropolis, Nigeria. *World Journal of Food Science and Technology*, 3(1), 14-19. <https://doi.org/10.11648/j.wjfst.20190301.13>
- Serna-Saldivar, S.O. (2003). CEREALS Dietary Importance. In *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (pp. 1027–1033). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00190-5>
- Švec, I. (2018). Baking value of wheat-fonio flour composites. *Advances in Food Science and Engineering*, 2(2), 59–67. <https://doi.org/10.22606/afse.2018.22001>
- URL-2, (2018). https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2018/2016/oj Erişim Tarihi:15.03.2023
- Vodouhe, S.R., Zannou, A. (2003). Proceedings of the first workshop on the genetic diversity of fonio (*Digitaria exilis* Stapf.) in West Africa (E. Achigan Dako, Ed.). IPGRI.
- Yilmaz, M.S. (2023). Fonio (*Digitaria Spp.*) and Its Potential for Use in Foods. In O. Kılınççeker & R. Meral (Eds.), *Some Novel Applications in The Food Industry* (pp. 105–124). Serüven Publishing, Ankara.
- Zhu, F. (2020). Fonio grains: Physicochemical properties, nutritional potential, and food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3365–3389. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12608>