

Yumurta ve Yumurta Ürünlerinin Fonksiyonları ve Kullanım Alanları

Use of Egg and Egg Products and Their Functional Properties

Muhammed
YÜCEER¹



¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi,
Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu,
Gıda İşleme Gıda Kalite Kontrolü ve Analizi,
Çanakkale, Türkiye

Meltem AŞIK²



²Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi,
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Gıda Güvenliği ve
Kalitesi Anabilim Dalı, Çanakkale, Türkiye



ÖZ

Yumurta, insan beslenmesi için gerekli makro ve mikro besin öğelerini dengeli biçimde içermesi nedeniyle fonksiyonel gıda olarak tanımlanmaktadır. Referans protein kaynakları arasında yer alan yumurta proteini, zengin lipid profili ve geniş vitamin-mineral içeriğiyle tarih boyunca hem bireysel beslenmenin hem de gıda endüstrisinin temel girdilerinden biri olmuştur. Bu derleme; Web of Science, Scopus, PubMed, ScienceDirect ve Google Scholar veri tabanlarının yapılandırılmış biçimde taranmasıyla hazırlanmış olup yumurta ve yumurta ürünlerinin tanımı, sınıflandırması, besinsel bileşimi, başlıca fonksiyonel teknolojik özellikleri (emülsifikasyon, köpük oluşturma, jelleşme, koagülasyon, bağlayıcılık), geleneksel ve yenilikçi işleme teknolojileri (ultrafiltrasyon, yüksek basınç işlemi, pulsed elektriksel alan, soğuk plazma, ultrason), gıda endüstrisindeki ve gıda dışı sektörlerdeki (kozmetik, ilaç, biyomedikal, tarım) kullanım alanları, yumurta kabuğu ve zarının değerlendirilmesi ile bitki bazlı yumurta ikamelerine ilişkin güncel gelişmeleri ele almaktadır. Ayrıca son on yılda alanda yaşanan değişimler, araştırma boşlukları ve endüstriyel yönelimler ayrı bir başlık altında tartışılmaktadır. Elde edilen bulgular, yumurtanın yalnızca bir besin kaynağı olmaktan öte birçok sektör açısından stratejik bir hammadde olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yumurta ürünleri, fonksiyonel özellikler, yumurta işleme teknolojileri, yumurta kabuğu

ABSTRACT

Eggs are classified as functional foods due to their balanced content of macro- and micronutrients essential for human health. As one of the reference protein sources, a rich lipid profile, and a broad spectrum of vitamins and minerals, eggs have historically been a fundamental component of both individual nutrition and the food industry. This review was prepared through a structured search of the Web of Science, Scopus, PubMed, ScienceDirect and Google Scholar databases, and examines the definition and classification of eggs and egg products, their nutritional composition, primary functional technological properties (emulsification, foaming, gelation, coagulation, binding), conventional and emerging processing technologies (ultrafiltration, high-pressure processing, pulsed electric field, cold plasma, ultrasound), their applications in the food industry and non-food sectors (cosmetics, pharmaceuticals, biomedical, agriculture), valorization of eggshells and membranes, and recent developments in plant-based egg substitutes. A dedicated section further discusses the changes of the past decade, existing research gaps, and industry trends. The evidence presented demonstrates that eggs are not merely a nutritional source but a strategically important multi-sector raw material.

Keywords: Egg products, functional properties, egg processing technologies, eggshell

Geliş Tarihi/Received 21.07.2026
Kabul Tarihi/Accepted 29.09.2026
Yayın Tarihi/Publication 30.09.2026

Sorumlu Yazar/Corresponding author:

Muhammed YÜCEER

E-mail: myuceer@comu.edu.tr

Cite this article: Yüceer, M., & Aşık, M.

(2026). Use of Egg and Egg Products and Their Functional Properties. *Gastro-World*, 6, 34-46.



Content of this journal is licensed under a
Creative Commons Attribution-NonCommercial
4.0 International License.

Giriş

Yumurta, tarih boyunca insan beslenmesinin temel gıdalarından biri olmuş; yüksek biyolojik değerli protein, dengeli lipid profili ve zengin vitamin-mineral içeriğiyle benzersiz bir besin kaynağı olma özelliğini korumuştur. Yumurta proteininin sindirilme oranı yaklaşık %97 ve biyolojik değeri yaklaşık %94 olup bu değerler diğer hayvansal protein kaynaklarıyla karşılaştırıldığında oldukça yüksektir (Puglisi ve Fernandez, 2022). Buna ek olarak, 100 g yumurta yalnızca 140 kcal gibi düşük bir enerji değerine sahip olması nedeniyle dengeli beslenme açısından da önemli bir yer tutmaktadır (Rehault-Godbert vd., 2019).

Besinsel değerinin ötesinde, yumurta gıda endüstrisinde vazgeçilmez bir işlevsel bileşen olarak da öne çıkmaktadır. Emülsifikasyon, köpük oluşturma, jelleşme, koagülasyon ve kristalizasyon kontrolü gibi teknolojik özellikleri sayesinde fırıncılık ürünlerinden et ürünlerine, mayonezden dondurmalara kadar geniş bir ürün yelpazesinde kullanılmaktadır. Son yıllarda ise yumurtanın gıda dışı alanlardaki potansiyeli de giderek daha fazla ilgi görmektedir: kozmetik formülasyonlar, farmasötik uygulamalar, biyomedikal malzemeler ve tarımsal kullanımlar bu alanların başında gelmektedir (Mine, 2007).

Tüm bu çok yönlülük, yumurtanın yalnızca kabuklu taze formuyla değil; sıvı, dondurulmuş, toz ve geleneksel olarak işlenmiş ürün formlarıyla da değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle fonksiyonel gıdalara olan talebin artması, yaşlanan küresel nüfusun besinsel gereksinimleri ve gıda güvenliği ile tedarik zinciri direnci konularındaki artan hassasiyet göz önüne alındığında, yumurta bazı ürünlerin geliştirilmesi hem halk sağlığı hem de sektörel karlılık açısından stratejik bir öneme sahip olduğu düşünülmektedir (Usturoi vd., 2025; Yüceer, 2019).

Bu derleme çalışması; yumurta ve yumurta ürünlerinin tanımı, besinsel bileşimi, fonksiyonel özellikleri, geleneksel ve yenilikçi işleme teknolojileri ile gıda ve gıda dışı sektörlerdeki kullanım alanlarını bütüncül bir perspektifle ele almayı; bunun yanı sıra alanın son on yıldaki değişimini, güncel araştırma boşluklarını ve endüstriyel yönelimlerini ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Yöntem

Bu derleme, yapılandırılmış bir literatür tarama yaklaşımıyla hazırlanmıştır. Tarama sürecinde Web of Science, Scopus, PubMed, ScienceDirect ve Google Scholar veri tabanları kullanılmış; “egg products”, “egg functional properties”, “egg processing technologies”, “plant-based egg alternatives”, “eggshell utilization” ve “egg bioactive peptides” anahtar kelimeleri, 2005-2026 yılları arasında yayımlanan çalışmalarla sınırlandırılarak taranmıştır.

İlk taramada belirlenen yayınlardan; konu kapsamı dışında kalanlar ve hakemsiz/kaynağı doğrulanamayan yayınlar değerlendirme dışı bırakılmıştır. Bu süzgeçten sonra, aralarında hakemli dergi makaleleri, kitap bölümleri ve uluslararası kurum raporlarının (FAO, EFSA, IEC) yer aldığı bir kaynak seti oluşturulmuştur. Derlemenin kapsamı; yumurta ve yumurta ürünlerinin tanımı ve sınıflandırması, besinsel bileşimi, fonksiyonel teknolojik özellikleri, geleneksel ve yenilikçi işleme teknolojileri, gıda ve gıda dışı sektörlerdeki kullanım alanları, yumurta kabuğu/zarının değerlendirilmesi ve bitki bazlı alternatifler ile sınırlandırılmıştır. Hayvan deneyi veya klinik performans sonuçlarına dayanan birincil araştırmalar yerine, gıda güvenliği, kalite kontrolü, analitik tespit yöntemleri ve tedarik zinciri bütünlüğüne odaklanan kaynaklara öncelik verilmiştir.

Yumurta ve Yumurta Ürünlerinin Tanımı ve Sınıflandırması

Yumurta ürünleri; kabuğundan ayrılmış tam yumurta, yumurta sarısı, yumurta akı veya bunların karışımlarından elde edilen, gerektiğinde diğer gıda maddeleriyle kombine edilebilen ve tekniğine uygun şekilde üretilmiş ürünler olarak tanımlanmaktadır. Bu tanım kapsamındaki ürünlerin en az %50 oranında yumurta içermesi gerekmekte olup söz konusu ürünler sıvı, konsantre, kurutulmuş, dondurulmuş, koagüle edilmiş veya kristalize formda üretilmektedir. Taze yumurtanın sınırlı raf ömrü ile taşıma ve depolama koşullarına karşı hassasiyeti, yumurtanın farklı biçimlerde işlenerek çeşitli ürün formlarına dönüştürülmesini zorunlu kılmıştır (Sharaf Eddin vd., 2019). Yumurta ürünlerinin sınıflandırılması ve bu ürünlerin temel özellikleri Tablo 1’de özetlenmiştir.

Kabuklu Yumurta

En yaygın tüketim biçimi olan kabuklu yumurta, hem hane halkı tüketiminde hem de gıda endüstrisinde temel hammadde olarak kullanılmaktadır. Depolama ve taşıma koşullarına bağlı olarak raf ömrü değişmekle birlikte soğuk zincir koşullarında birkaç haftaya kadar uzayabilmektedir (Yüceer, 2023b). Yumurta gerek hane halkı tüketiminde gerekse gıda endüstrisinde temel bir hammadde olarak değerlendirilmektedir. Raf ömrü, depolama ve taşıma koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte, soğuk zincir koşullarının (yaklaşık 4-7 °C) sağlanması durumunda birkaç haftaya kadar uzatılabilmektedir; depolama sıcaklığının ve süresinin artmasıyla birlikte Haugh birimi, kabuk kalınlığı ve özgül ağırlık değerlerinde anlamlı düşüşler meydana geldiği bildirilmiştir. Avrupa Birliği genelinde yumurta depolama sıcaklığına ilişkin standardize edilmiş bir düzenlemenin bulunmadığı, iklimsel bölgeler arasındaki farklılıklar nedeniyle mevcut AB mevzuatının (EC

No. 589/2008) tüm coğrafi bölgelerde tutarlı bir soğuk zincir uygulaması sağlamada yetersiz kaldığı, öngörülen 0 °C ile 18-20 °C arasındaki sıcaklık aralığının yalnızca Kuzeybatı Avrupa'nın ılıman iklim koşullarında işlevsel olabileceği ifade edilmektedir (Fikiin vd., 2020). Kabuklu yumurtanın ambalajlı sıvı yumurta akı ve sarısına kıyasla avantajları arasında, doğal ambalaj niteliği taşıyan kabuğun fiziksel ve mikrobiyal bir bariyer işlevi görmesi, ek ambalajlama/işleme maliyeti gerektirmemesi, tüketici nezdinde taze ürün olarak algılanması ve farklı kullanım biçimlerine (haşlama, kırma, pişirme) uygunluk göstermesi sayılabilirken; dezavantajları arasında kırılabilirlik nedeniyle taşıma-depolama kayıplarının daha yüksek olması, hacim-viskozite-homojenlik açısından standardizasyonun güç sağlanması, büyük ölçekli endüstriyel proseslerde (örneğin sürekli üretim hatlarında) kırma-ayırma işleminin ek iş gücü ve ekipman gerektirmesi ile raf ömrünün sıvı pastörize ürünlere kıyasla daha kısa ve sıcaklık dalgalanmalarına karşı daha duyarlı olması yer almaktadır (Fikiin vd., 2020; Saleh vd., 2020).

Tablo 1.

Yumurta ürünlerinin sınıflandırması ve temel özellikleri

Ürün Formu	Üretim Yöntemi	Temel Özellikler / Kullanım
Kabuklu yumurta	Doğal form,	Taze tüketim, endüstriyel hammadde
Pastörize sıvı yumurta	Homojenizasyon + pastörizasyon	Fırıncılık, hazır gıda, endüstriyel kek ve mayonez imalatı
Dondurulmuş yumurta	Pastörizasyon ve sonrasında -25 °C'de depolama	Uzun raf ömrü (yaklaşık 1 yıl), büyük ölçekli endüstri Fırıncılık, makarna, mayonez ve hazır gıda endüstrisinde bağlayıcı/emülgatör olarak yaygın kullanım alanı bulmaktadır.
Yumurta tozu	Püskürtmeli kurutma	Hacim/ağırlık avantajı ve uzun raf ömrü nedeniyle fırıncılık, hazır çorba-toz karışım, şekerleme ve acil durum/askeri gıda üretiminde tercih edilmektedir.

Kaynak: Anar, 2016; Güner ve Telli, 2021; Yüceer, 2019

Sıvı Yumurta

Temin edilen yumurtalar, kabuklarından ayrıldıktan ve filtre edilip soğutulduktan sonra yumurta içeriğinin

homojenize edilmesi ve uygun koşullarda pastörize edilmesiyle sıvı yumurta ürünlerine dönüştürülebilmektedir. İşleme ve kullanım amacına bağlı olarak sıvı yumurta; sıvı bütün yumurta, sıvı yumurta sarısı ve sıvı yumurta akı olmak üzere farklı formlarda hazırlanabilmekte ve ambalajlanarak satışa sunulabilmektedir. Bu ürünler, özellikle gıda sanayisinde yumurtanın kırılması, ayrıştırılması ve hazırlanması gibi işlemlere duyulan ihtiyacı azaltarak üretim süreçlerinde kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Sıvı yumurta ürünleri; pastacılık, unlu mamuller, mayonez ve sos üretimi, hazır yemekler, şekerleme ve çeşitli gıda ürünlerinin üretiminde hammadde veya bileşen olarak kullanılabilir. Ürünün kullanım amacına göre yumurtanın tamamı veya yalnızca akı ya da sarısı tercih edilebilmekte, böylece farklı gıda uygulamalarına uygun özellikte ürünlerin hazırlanmasına olanak sağlanmaktadır. Ayrıca sıvı form, endüstriyel üretimde dozajlama, karıştırma ve proses otomasyonu açısından da kullanım kolaylığı sunmaktadır (Kapoor vd., 2010; Lechevalier vd., 2011).

Dondurulmuş Yumurta

Küresel ölçekte üretilen yumurtanın işlenmiş ürünlere işlenme oranı, bölgesel koşullara bağlı olarak büyük farklılıklar arz etmektedir. Kuzey Amerika, Avrupa Birliği ve Japonya'da bu oran %30'un üzerine çıkarken küresel ortalama daha düşük düzeylerde seyretmektedir. Dondurulmuş yumurta üretiminde yumurta içi homojenize edilmiş hâlde ya da sarı ve ak ayrılmış biçimde plakalı pastörizatörler aracılığıyla pastörize edildikten sonra -25 °C'de depolanmaktadır. Bu yöntemle raf ömrü yaklaşık bir yıla ulaşabilmektedir (Vaclavik ve Christian, 2003).

Yumurta Tozu

Homojenize edilen yumurta püskürtmeli kurutucu kullanılarak toz haline getirilir. Bu ürünlerin raf ömrü oldukça uzun olup piyasada bütün yumurta tozu, yumurta sarısı tozu ve yumurta akı tozu gibi çeşitleri bulunmaktadır. Yumurta akı tozu üretiminde asitlendirme işlemi gerçekleştirilerek ortam pH'ı düşürülür; bu sayede kurutma öncesi çiğ yumurta içinde bulunan serbest glukozun proteinlerdeki amino gruplarla reaksiyona girerek enzimatik olmayan esmerleşmeye (Maillard reaksiyonu) yol açması engellenir. Glukozun uzaklaştırılması (desugarization) amacıyla fermentasyon (maya veya bakteri) veya glukoz oksidaz enzimi kullanılabilir (Quan ve Benjakul, 2019; Yüceer & Caner, 2019). Bu uygulamanın avantajı ürün renginin ve çözünürlüğünün korunmasıdır, dezavantajı ek proses adımı gerektirmesi nedeniyle üretim maliyetini ve süresini artırması, ayrıca düşük pH değerlerinin bazı fonksiyonel özellikleri (ısıl stabilite, pıhtılaşma davranışı) farklı yönde

etkileyebilmesidir (Silva vd., 2017).

Geleneksel ve Fermente Yumurta Ürünleri

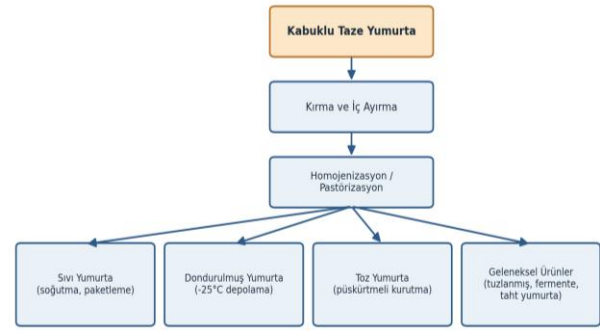
Sanayileşmiş ülkelerde yumurta işleme ağırlıklı olarak sıvı, dondurulmuş ve toz ürünler etrafında şekillenirken, başta Çin ve Güneydoğu Asya olmak üzere pek çok bölgede geleneksel işleme yöntemleri de önemini korumaktadır. Tuzlanmış yumurta (salted egg), yumurtanın tuz-kil karışımı veya salamura ile muamele edilmesiyle elde edilmekte; sarısının yağlı ve pütürlü yapısı nedeniyle pasta, mayonez ve dondurma üretiminde tercih edilmektedir (X. Li vd., 2022). Yüzyıllık yumurta (century egg/pidan) ise yumurtanın kil, kireç ve tuz karışımı içinde haftalar süren alkali muameleye tabi tutulmasıyla üretilmektedir. Geleneksel yöntemde yumurta kil, odun külü, sönmüş kireç (CaO) ve tuzdan oluşan bir çamurla kaplanır; bu karışım zamanla sodyum karbonat, kireç ve suyun reaksiyona girmesiyle sodyum hidroksit (NaOH) açığa çıkarmaktadır. Günümüz endüstriyel üretiminde ise yumurtalar doğrudan yaklaşık %4-5 NaOH ve %5 NaCl içeren bir salamura çözeltisine 2-4 hafta daldırılmakta, bazı formülasyonlara renk ve tekstürü desteklemek amacıyla çinko, magnezyum ve bakır tuzları da eklenmektedir. Alkali madde kabuktaki gözeneklerden içeri nüfuz ederek akı proteinlerinin denatürasyonuna ve jelleşmesine, sarının ise katılaşmasına neden olur; bu süreçte açığa çıkan hidrojen sülfürün demirle reaksiyona girmesi, akıda görülen karakteristik koyu yeşil-kahverengi rengin oluşmasını sağlar. Ağır metal içeren geleneksel tariflerin yerini günümüzde, kalsine yumurta kabuğu tozundan elde edilen alkali çözelti gibi daha güvenli ve düşük maliyetli alternatifler almaya başlamıştır (Lin vd., 2022; Wang vd., 2024). Ayrıca turşu yumurta (pickled egg), haşlanmış veya çiğ yumurtanın sirke esaslı bir solüsyonda bekletilmesiyle; şekerlenmiş sarı (sugared yolk), sarının yüksek oranda şeker ile karıştırılarak su aktivitesinin düşürülmesiyle (genellikle dondurulmuş sarının kristalleşme sorununu önlemek amacıyla) elde edilmektedir. Dondurulmuş sarı (frozen yolk), doğrudan -18 °C ve altında muhafaza edilerek üretilirken, jelleşme sorununu azaltmak için genellikle şeker veya tuz katkısı yapılır. Yüksek jel gücüne sahip yumurta akı (high-gel egg white), ısıl işlem veya pH ayarlaması ile akının jelleşme kapasitesinin artırılmasıyla, özellikle et ve unlu mamul endüstrisinde bağlayıcı olarak kullanılmak üzere üretilir. Enzim modifiye yumurta ürünleri, proteaz gibi enzimlerle kısmi hidrolize tabi tutularak çözünürlük ve fonksiyonel özelliklerin iyileştirildiği ürünlerdir. Fermente yumurta ürünleri ise mikrobiyal fermentasyon yoluyla hem raf ömrünün uzatıldığı hem de lezzet profilinin değiştirildiği

Yumurta proteini, besin biliminde referans protein kaynağı olarak kabul görmektedir; sindirilme oranı yaklaşık %97 ve biyolojik değeri yaklaşık %94'tür. Amino asit

ürün grubunu oluşturmaktadır. Bu ürün grubu hem geleneksel gıda bilgisinin korunması hem de gıda güvenliği açısından standardizasyon ihtiyacı bakımından ayrı bir araştırma alanı oluşturmaktadır (Fikiin vd., 2020; X. Li vd., 2022; Saleh vd., 2020; Wang vd., 2024). Yumurta ürünlerinin üretim sürecine ilişkin genel akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1.

Yumurta Ürünlerinin Akış Şeması



Kaynak: Yüceer & Caner, 2019

Yumurtanın Besinsel Bileşimi ve Önemi

Yumurta, makro ve mikro besin öğeleri açısından son derece dengeli bir bileşime sahip olup insan sağlığı için gerekli olan pek çok besini tek bir gıda kaynağında bir arada sunmaktadır. Yenilebilir kısmı incelendiğinde; yaklaşık %74 su, %12 protein, %12 lipit, %1'den az karbonhidrat ve %1 oranında mineral içerdiği görülmektedir (Tablo 2). Proteinlerin hem akta hem sarıda bulunduğu, buna karşın lipitlerin, yağda çözünen vitaminlerin ve minerallerin büyük çoğunluğunun yumurta sarısında yoğunlaştığı bilinmektedir (Li-Chan ve Kim, 2008; Sunwoo ve Gujral, 2015). Yumurtanın 100 g yenilebilir kısmına ait makro besin bileşimi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2.

Yumurtanın makro besin bileşimi (100 g yenilebilir kısım)

Bileşen	Miktar	Özellik
Su	%74	Yüksek nem içeriği
Protein	%12	Referans protein kaynağı
Lipit	%12	Ağırlıklı tekli doymamış
Karbonhidrat	<%1	Düşük glisemik etki
Mineral	%1	Se, P, Fe, Zn
Enerji	140 kcal	Düşük kalorili

Kaynak: Anar, 2016; Güner ve Telli, 2021

bileşiminin insan vücudunun gereksinimlerini eksiksiz karşılaması, yumurtayı özellikle yaşlılar, hamile kadınlar, çocuklar ve sporcu bireyler için kritik bir besin kaynağı hâline getirmektedir (Puglisi ve Fernandez, 2022).

Protein kalitesinin değerlendirilmesinde uzun yıllar kullanılan Protein Sindirilebilirlik Düzeltmeli Amino Asit Skoru (PDCAAS) yöntemi, fekal azot sindirilebilirliğine dayanması nedeniyle bazı proteinlerin kalitesini olduğundan yüksek, bazılarınınkini ise düşük tahmin edebilmektedir. Bu sınırlılık nedeniyle, ince bağırsak düzeyinde ölçülen amino asit sindirilebilirliğini esas alan ve üst sınırı olmayan Sindirilebilir Esansiyel Amino Asit Skoru (DIAAS) yaklaşımını önermiştir. Yumurta proteini her iki yöntemde de en yüksek kalite sınıfında (mükemmel kalite, DIAAS>100) yer almakta; bu durum yumurtanın diğer hayvansal ve bitkisel protein kaynakları arasındaki referans konumunu güçlendirmektedir (Herreman vd., 2020).

Yumurta sarısı; trigliseritler, fosfolipitler ve kolesterol başta olmak üzere çeşitli lipit fraksiyonlarını içermektedir. Bu fraksiyonlar içinde özellikle lesitin (fosfatidilkolin), hem beslenme hem de teknolojik işlevsellik açısından büyük önem taşımaktadır. Lesitin, doğal bir emülgatör olarak yağ ve su fazlarının homojen bir karışım oluşturmada sağlamakta; mayonez ve salata sosları gibi emülsiyon tipi ürünlerin formülasyonunda belirleyici bir rol üstlenmektedir (Anton, 2013; Samaraweera vd., 2011).

Mevcut epidemiyolojik ve klinik çalışmalar, diyet kolesterolü ile plazma kolesterol yanıtının bireyler arasında değişkenlik gösterdiğini ve ilişkinin daha önce düşünüldüğünden daha karmaşık olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, uzun yıllar boyunca yumurta tüketimini kısıtlayan görüşlerin bilimsel dayanağını zayıflatmıştır; ancak bireysel varyasyonu (örneğin kolesterole “hiper-yanıtlayıcı” bireyler) dikkate alan güncel meta-analizlerin bu tartışmaya eklenmesi, derlemenin bu bölümünü daha da güçlendirecek bir araştırma önceliği olarak değerlendirilmektedir (Fernandez & Murillo, 2022; Jacobson vd., 2015).

Yumurta; A, D, E ve K vitaminleri gibi yağda çözünen vitaminlerin yanı sıra B2 (riboflavin), B12 ve folik asit gibi suda çözünen vitaminleri de içermektedir. Mineral açısından ise selenyum, fosfor, demir ve çinko öne çıkan başlıca bileşenler arasında yer almaktadır. Lizozim, ovomukoid, ovoinhibitör ve sistatin yumurta akındaki biyoaktif proteinler olup yumurta sarısında lesitin, fosvitin, karotenoid ve lutein gibi fonksiyonel bileşenler yer almaktadır. Bu biyoaktif bileşenler antimikrobiyal, immünomodülatör, antioksidan, antikanser ve antihipertansif özellikler sergilemektedir (Abeyrathne vd., 2013; Z. Li vd., 2022; Rehault-Godbert vd., 2019).

Fonksiyonel gıda kavramı, sağlık hizmetlerinin maliyetinin yükselmesi, kronik hastalık prevalansının artması ve yaşam kalitesini iyileştirme kaygısıyla giderek daha geniş bir tüketici kitlesi tarafından benimsenen bir kategoridir (Rehault-Godbert vd., 2019). Yumurta, biyoaktif

bileşenleri ve üstün besinsel özellikleriyle bu kategoride değerlendirilebilecek ender gıdalar arasında yer almaktadır. Nitekim omega-3 yağ asitleri, selenyum veya D vitamini açısından zenginleştirilmiş fonksiyonel yumurta geliştirme çalışmaları giderek yaygınlaşmakta; bu ürünler hem bireysel tüketiciler hem de gıda endüstrisi açısından yüksek katma değerli alternatifler olarak öne çıkmaktadır (Wu & McClements, 2015).

Yumurtanın Fonksiyonel Teknolojik Özellikleri

Yumurta ve yumurta ürünleri, gıda endüstrisinde yalnızca besinsel değerleriyle değil; gıda işleme ve ürün kalitesini artıran çeşitli işlevsel özellikleriyle de vazgeçilmez bileşenler arasında yer almaktadır. Bu özellikler arasında emülsifikasyon, köpük oluşturma, jelleşme, koagülasyon ve bağlayıcılık öne çıkmaktadır (Miranda vd., 2015). Yumurtanın gıda teknolojisindeki temel fonksiyonel özellikleri, bu özelliklerden sorumlu bileşenler ve bunların etki mekanizmaları Tablo 3’te sunulmuştur.

Yumurta, içerdiği fonksiyonel bileşenler sayesinde gıda sistemlerinde çok yönlü teknolojik roller üstlenmektedir (Şekil 2). Yumurta sarısında bulunan lesitin (fosfatidilkolin), amfililik yapısı sayesinde yağ ve su fazlarını stabilize ederek doğal bir emülgatör görevi görmektedir; bu özellik özellikle mayonez, hollandise sosu ve kek hamuru gibi yağ-su emülsiyonu gerektiren ürünlerin formülasyonunda kritik önem taşımaktadır. Yumurta akındaki globüler proteinler ise mekanik çırpma ile denatüre olarak hava-su arayüzünde yerleşmekte ve kararlı köpük yapıları oluşturmada, bu süreçte özellikle ovalbumin temel rol oynayarak beze, sufle, makaron ve kek gibi ürünlerin hafif ve gözenekli yapısının oluşmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca yumurta proteinleri 60-85 °C aralığında denatüre olarak üç boyutlu protein ağları meydana getirmekte; bu durum jelleşme ve koagülasyon olarak tanımlanmakta olup puding ve krema gibi ürünlerde istenilen kıvamın sağlanmasına, et ürünlerinde ise yapısal stabilitenin korunmasına katkıda bulunmaktadır. Bunun yanı sıra yumurta, köfte, sosis ve nugget gibi ürünlerde bağlayıcı ajan olarak görev yapmakta; proteinlerin ısıyla indüklenen koagülasyonu sayesinde bileşenleri bir arada tutarak pişirme sırasında dağılmayı önlemekte ve son ürünün tekstürel bütünlüğünü artırmaktadır (Miranda vd., 2015). Yumurtanın temel fonksiyonel ve teknolojik özellikleri ile bu özelliklerin gıda sistemlerindeki karşılıkları Şekil 2’de şematik olarak gösterilmiştir.

Tablo 3.

Yumurtanın temel fonksiyonel teknolojik özellikleri, sorumlu bileşenleri ve mekanizmaları

Fonksiyon	Sorumlu Protein/Bileşen	Mekanizma	Kullanıldığı Ürün	Sağladığı Avantaj
Emülsifikasyon	Lesitin (sarı)	Amfifilik yapı ile yağ-su ara yüzeyinin stabilize edilmesi	Mayonez, salata sosu, kek	Faz ayrımının önlenmesi, stabilite
Köpük oluşturma	Ovalbumin (ak)	Mekanik çırpma ile denatürasyon ve hava-su ara yüzeyinde tutunma	Beze, sufle	Hafif ve gözenekli doku
Jelleşme	Protein ağı (ak+sarı)	60-85 °C aralığında üç boyutlu ağ oluşumu	Puding, krema, flan	İstenilen kıvamın sağlanması
Koagülasyon	Denatüre proteinler	Isıyla indüklenen geri dönüşsüz katılaşma	Omlet, haşlanmış yumurta	Yapısal bütünlük
Bağlayıcılık	Genel protein yapısı	Isı ile indüklenen koagülasyonla bileşenlerin bir arada tutulması	Köfte, nugget, sosis	Pişirmede dağılmanın önlenmesi
Renk/lezzet verme	Karotenoidler (sarı)	Pigment aktarımı ve Maillard reaksiyonu na katkı	Makarna, pasta, krema	Duyusal kalite artışı

Kaynak: Wu ve McClements, 2015; Yüceer, 2019

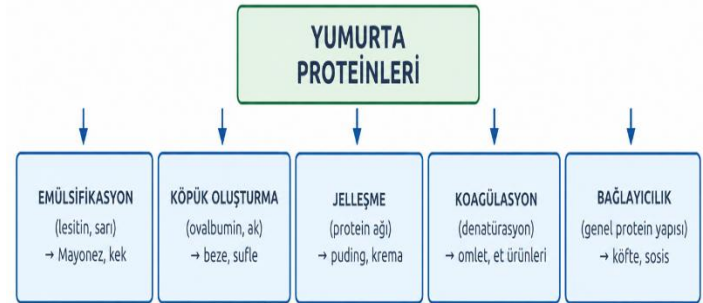
Gıda Endüstrisinde Kullanım Alanları

Yumurta, farklı gıda kategorilerinde çok yönlü fonksiyonel özellikleri sayesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yumurta ve ürünleri fırıncılık ürünlerinde (kek, pasta, bisküvi ve ekmek) hamurun yapısını güçlendirmekte, hacim artışını desteklemekte ve kabarmaya katkı sağlamaktadır; özellikle yumurta akının köpük oluşturma özelliği ürünün hafif ve gözenekli bir yapı

kazanmasına yardımcı olurken, yumurta sarısında bulunan lesitin yağ ve su fazlarının homojen şekilde karışmasını sağlamaktadır (Yüceer vd., 2012).

Şekil 2.

Yumurtanın temel fonksiyonel ve teknolojik özellikleri ve gıda sistemlerindeki karşılıkları



Kaynak: Yüceer, 2019

Emülsiyon tipi ürünlerde, özellikle mayonez ve salata soslarında, yumurta sarısında bulunan lesitin doğal bir emülgatör olarak işlev görmektedir ve yağ ile su fazlarının homojen ve kararlı bir yapı oluşturmaya katkı sağlamaktadır. Bu özellik, ürün stabilitesinin artırılmasına ve depolama sürecinde faz ayrılmasının önlenmesine yardımcı olmaktadır (Suhag, 2024). Et ürünlerinde ise köfte, sosis ve nugget gibi ürünlerin formülasyonlarına eklenen yumurta, bileşenler arasında bağlayıcı bir işlev üstlenmektedir. Isıl işlem sırasında yumurta proteinlerinin koagülasyonu sonucunda oluşan yapı, ürünün bütünlüğünün korunmasına ve istenen tekstürel özelliklerin geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır (Stefanova vd., 2021).

Süt bazlı tatlılar ve dondurma gibi ürünlerde yumurta, kıvam artırıcı ve yapı geliştirici bir bileşen olarak işlev görmektedir. Isıl işlem sırasında yumurta proteinlerinin jel oluşturma özelliği, ürünlerde istenen kıvam ve yapının oluşmasına katkı sağlarken, aynı zamanda lezzet ve renk gelişiminde de rol oynamaktadır. Bunun yanı sıra, yumurta akı; çikolata ve şekerleme ürünleri, pavlova, sufle, beze ve makaron gibi çeşitli gıda ürünlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yumurta sarısı ise hamur işleri, ekmek çeşitleri, pasta, poğaça, çorba, kek, bisküvi, dondurma, mayonez ve gofret gibi çok çeşitli ürünlerin formülasyonlarında temel veya yardımcı bileşen olarak değerlendirilmektedir (Yüceer, 2019).

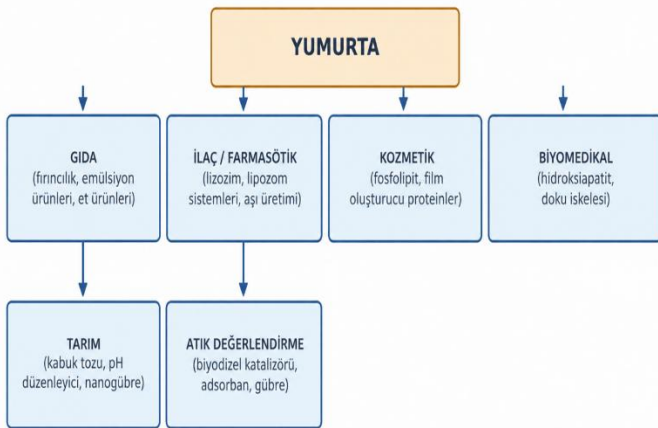
Gıda Dışı Kullanım Alanları

Yumurtanın çok yönlülüğü yalnızca gıda sektörüyle sınırlı kalmamaktadır. Karmaşık protein yapısı, emülgatör

özellikleri ve biyolojik bileşimi nedeniyle ilaç, kozmetik, biyomedikal ve tarım gibi pek çok sektör için değerli hammaddeler oluşturmaktadır (Rehault-Godbert vd., 2019). Yumurta ve yumurta bileşenlerinin gıda ve gıda dışı sektörlerdeki başlıca kullanım alanları Şekil 3'te özetlenmiştir.

Şekil 3.

Yumurta ve yumurta bileşenlerinin gıda ve gıda dışı sektörlerdeki başlıca kullanım alanları



Kaynak: Yüceer, 2019

Kozmetik sektöründe yumurta bileşenleri, çeşitli fonksiyonel özellikleri nedeniyle farklı ürün formülasyonlarında değerlendirilmektedir. Yumurta sarısında bulunan fosfolipitler, kozmetik formülasyonlarında emülgatör ve nemlendirici ajan olarak işlev görürken, yumurta akı proteinleri cilt bakım ürünlerinde film oluşturu ve ciltte sıkılaştırıcı etki sağlayabilmektedir. Bunun yanı sıra, kolajen benzeri yapısal özelliklere sahip olan yumurta zarı, yara iyileşmesini destekleyici ve cilt yenilenmesine katkı sağlayıcı ürünlerin geliştirilmesinde potansiyel bir bileşen olarak değerlendirilmektedir (Mohseni Ghalehghazi ve Zhong, 2025).

Farmasötik ve biyomedikal sektörlerinde; yumurtadan elde edilen lizozim, antibakteriyel özelliği nedeniyle ilaç ve gıda koruma endüstrisinde ticari ölçekte kullanılmaktadır. Yumurta sarısı fosfolipitleri, parenteral lipit emülsiyonları ve ilaç taşıyıcı sistemlerin (lipozomlar, miseller) bileşeni olarak farmasötik sektörde önemli bir yer edinmiştir (Abeyrathne vd., 2022; Zhang vd., 2021). Aşı üretiminde embriyolu yumurtalar, influenza başta olmak üzere pek çok viral aşının üretim substratı olarak kullanılmaya devam etmektedir (Manini vd., 2017).

Tarımda ise yumurta kabuğu tozu, tarımsal uygulamalarda toprak pH düzenleyici ve kalsiyum kaynağı

olarak kullanılmaktadır (Vu vd., 2022). Yumurta kabuğundan sentezlenen hidroksiapatit nanopartiküllerin nanogübre olarak bitki gelişimine katkı sağladığı gösterilmiştir (Pohshna ve Mailapalli, 2023).

Yumurta Kabuğunun Değerlendirilmesi

Yumurta kabuğu ağırlıklı olarak (yaklaşık %95) kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve %3,5 oranında organik matriks proteinlerinden oluşmaktadır. Küresel yumurta işleme sanayii büyük miktarda kabuk atığı üretmekte; bu atıkların değerlendirilmesi hem ekonomik hem de çevresel açıdan kritik bir öneme sahip olmaktadır (Sainz-Hernández vd., 2026). Yumurta kabuğunun değerlendirilebileceği potansiyel kullanım alanları Tablo 4'te sunulmuştur.

Son yıllarda yumurta kabuğundan üretilen hidroksiapatit nanopartiküllerin kemik yenilenmesinde başarılı biçimde uygulandığı bildirilmektedir (Mohseni Ghalehghazi & Zhong, 2025). Tarımsal uygulamalarda yumurta kabuğu, asidik toprakların pH değerinin düzenlenmesi, bitki besin elementlerinin sağlanmasına katkıda bulunulması ve biyodizel üretiminde katalizör olarak değerlendirilmesi amacıyla kullanılabilir. Çevre teknolojileri açısından ise yumurta kabuğunun ağır metal iyonlarının adsorpsiyonunda ve atık su arıtım süreçlerinde adsorban olarak kullanımına yönelik araştırmaların giderek arttığı görülmektedir.

Tablo 4.

Yumurta kabuğunun potansiyel kullanım alanları

Sektör	Uygulama	Kaynak
Tıp/Biyomedikal	Kemik doku mühendisliği, osteoporoz	(Mohseni Ghalehghazi ve Zhong, 2025)
Tarım	pH düzenleyici, nanogübre	(Hamdivadigh ve Javadpour, 2024)
Çevre	Ağır metal adsorpsiyonu, atık su	(Ahmed vd., 2021; Zonato vd., 2022)
Enerji	Biyodizel katalizörü	(Ahmed vd., 2021)
Gıda	Kalsiyum takviyesi, gıda zenginleştirme	(Ahmed vd., 2021)

Güncel ve Yenilikçi İşleme Teknolojileri

Geleneksel ısı işlemler (pastörizasyon, kurutma) yumurta ürünlerinde mikrobiyolojik güvenliği sağlamakla birlikte protein yapısında istenmeyen değişikliklere yol açabilmektedir. Bu nedenle son on yılda, ısıya duyarlı bileşenleri koruyarak hem güvenliği hem de fonksiyonelliği artırmayı hedefleyen termal olmayan (non-thermal) teknolojiler yumurta işleme literatüründe giderek daha fazla yer bulmaktadır (Safwa vd., 2024).

Ultrafiltrasyon ve membran teknolojileri, yumurta akı ve sarısında bulunan belirli protein fraksiyonlarının, özellikle lizozim ve ovalbuminin, seçici olarak ayrıştırılması ve konsantre edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu teknolojilerin uygulanmasıyla, yüksek saflık ve katma değer taşıyan izole protein ürünlerinin elde edilmesi mümkün olmakta ve yumurta bileşenlerinin fonksiyonel özelliklerinden daha etkin biçimde yararlanılmasına olanak sağlanmaktadır (Yüceer vd., 2023). Yüksek basınç işlemi, yumurta ürünlerinde mikrobiyal inaktivasyonu ısıl pastörizasyona kıyasla daha düşük sıcaklıkta sağlarken fonksiyonel özellikleri büyük ölçüde korumaktadır (Yüceer vd., 2026).

Atımlı elektrik alan uygulaması, sıvı yumurta ürünlerinin non-termal olarak stabilize edilmesinde ve bazı enzimlerin inaktive edilmesinde kullanılan bir diğer yöntemdir. Elektriksel alan şiddeti, uygulama süresi, ürünün iletkenliği ve pH'ı bu yöntemin etkinliğini belirleyen başlıca parametrelerdir (Yogesh, 2016). Soğuk plazma teknolojisi ise kabuklu yumurta yüzeyindeki patojenlerin inaktivasyonunda, kabuk kütükülmesine ve iç kaliteye belirgin bir zarar vermeden kullanılabilir (Movasaghi vd., 2025).

Yüksek yoğunluklu ultrason uygulamaları, yumurta akı proteinlerinin çözünürlüğünü, köpük oluşturma kapasitesini ve emülsifikasyon özelliklerini iyileştirdiği bildirilen bir diğer yenilikçi yaklaşımdır (Bhargava vd., 2021). Bu yöntem; kavitasyon etkisiyle oluşan yapısal açılma (unfolding), yüzey hidrofobitesini artırarak protein-su ve protein-yag ara yüzey etkileşimlerini güçlendirmektedir (Antunez-Medina vd., 2025). Bu etki, whey (peynir altı suyu tozu) proteinine alternatif sporcu beslenmesi ürünlerinde kullanılacak yumurta esaslı toz/sıvı formülasyonların geliştirilmesi açısından potansiyel bir teknolojik fırsata işaret etmektedir (Yüceer, 2020; Zhang vd., 2024).

Enzimatik hidroliz ile üretilen yumurta protein hidrolizatları ve peptitleri; antihipertansif (ACE-inhibitör), antioksidan, antimikrobiyal ve antidiyabetik biyoaktiviteler sergileyebilmektedir (Benede ve Molina, 2020). Ovalbuminin saflaştırılması ve lizozim üretimi ise hem gıda koruma hem de farmasötik uygulamalar için ayrı birer endüstriyel süreç olarak öne çıkmaktadır (Abeyrathne vd., 2013; Tahergorabi ve Jaczynski, 2017; Yüceer, 2021b, 2022).

Fonksiyonel Yumurta Ürünleri

Tavukların rasyonlarına yönelik hedefli besin bileşeni takviyeleri aracılığıyla yumurtanın besin profilinin

zenginleştirilmesi, günümüzde “fonksiyonel yumurta” olarak tanımlanan yeni bir ürün kategorisinin ortaya çıkmasına katkı sağlamıştır. Bu kapsamda geliştirilen ürünler, tüketicilerin mevcut beslenme alışkanlıklarında önemli bir değişiklik yapmalarına gerek kalmaksızın, çeşitli biyoaktif bileşenlerin diyet yoluyla alımının artırılmasına olanak sağlayan bir gıda seçeneği sunmaktadır (Miranda vd., 2015). Başlıca fonksiyonel yumurta ürünleri ile bu ürünlerin hedeflediği faydalar ve fonksiyonel özellikler Tablo 5’te gösterilmiştir.

Tablo 5.

Başlıca fonksiyonel yumurta ürünleri ve hedeflenen fayda ve fonksiyonel özellikleri

Ürün	Zenginleştirilen Bileşen	Hedeflenen besinsel/fonksiyonel özellik
Omega-3 yumurta	EPA/DHA (balık yağı, keten tohumu)	Kardiyovasküler destek
Selenyum yumurtası	Organik selenyum	Antioksidan kapasite
D vitamini zengin yumurta	D ₃ vitamini	Kemik sağlığı, bağışıklık
Lutein zengin yumurta	Lutein/zeaksantin	Göz sağlığı
DHA yumurtası	Dokosaheksaenoik asit	Bilişsel fonksiyon desteği
Probiyotik yumurta	Rasyona probiyotik ilavesi	Bağırsak mikrobiyotası
Düşük kolesterolü yumurta	Genetik seleksiyon/rasyon	Kalp-damar sağlığı algısı

Kaynak: Miranda vd., 2015; Yüceer vd., 2012

Bu ürünlerin geliştirilmesinde temel zorluk, zenginleştirilen bileşenin duyu kaliteyi (renk, koku, tat) olumsuz etkilemeden yumurtada stabil biçimde tutulmasıdır. Bu nedenle mikroenkapsülasyon ve kontrollü salım sistemleri, fonksiyonel yumurta geliştirme çalışmalarında öne çıkan tamamlayıcı teknolojiler arasında yer almaktadır (Yüceer vd., 2012).

Yumurta İkameleri ve Bitki Bazlı Alternatifler

Küresel ölçekte yumurta ikame malzemelerine yönelik pazarın; alerjenlere ilişkin endişelerin artması, yumurta fiyatlarındaki dalgalanmalar, kuş gribi gibi hayvan hastalıklarının yol açtığı tedarik riskleri ve bitki bazlı gıdalara yönelik tüketici talebinin artması gibi çeşitli faktörlerin etkisiyle hızlı bir gelişim gösterdiği bildirilmektedir. Söz konusu talep artışı, geleneksel yumurtanın çok yönlü fonksiyonel ve teknolojik özelliklerini ve besinsel değerini mümkün olduğunca taklit etmeyi amaçlayan bitki bazlı

yumurta alternatiflerinin geliştirilmesine yönelik araştırma ve ticari faaliyetlerin hız kazanmasına katkı sağlamıştır (Zahir ve Akhter, 2025).

Mevcut formülasyonlarda en sık kullanılan bileşenler arasında fasulye proteini, bezelye proteini, nohut proteini ve soya proteini yer almaktadır (Tablo 6); bu proteinler, yumurta akının köpük ve jelleşme özelliklerini kısmen taklit edebilmektedir. Nohut haşlama suyu olan aquafaba, içerdiği suda çözünür karbonhidratlar ve az miktardaki proteinler sayesinde köpük oluşturma kapasitesiyle özellikle beze uygulamalarda dikkat çekmektedir. Metilselüloz gibi hidrokolloidler ise ısıyla jelleşme özelliği sayesinde koagülasyon işlevini taklit etmek amacıyla formülasyonlara eklenmektedir (Buhl vd., 2019). Daha yeni bir yaklaşım olan hassas fermantasyon (precision fermentation), mikroorganizmaların genetik olarak programlanarak yumurta akı proteinlerine (örn. ovalbumin) yapısal olarak benzer proteinler üretmesini sağlamaktadır. Bu yöntemle üretilen “precision-fermentation-derived egg proteins” / “hassas fermantasyonla üretilen yumurta proteinleri”, bitkisel karışımların aksine tek bir saf protein kaynağı sunması nedeniyle fonksiyonel çok yönlülük açısından umut verici bir alternatif olarak değerlendirilmektedir (McClements ve Grossmann, 2021a). Bitki bazlı yumurta alternatiflerinin formülasyonunda kullanılan başlıca bileşenler Tablo 6’da özetlenmiştir.

Yaygınlıkları giderek artmasına karşın bitki bazlı yumurtalar, yumurtanın bileşiminin karmaşık yapısı nedeniyle geleneksel yumurtaların çok yönlü işlevlerini ve besin profillerini tam olarak yerine getirmekte önemli zorluklarla karşılaşmaktadır (Yüceer, 2024). Mevcut araştırmalar, belirli fonksiyonel gereksinimleri karşılayabilen bitki bazlı bileşen karışımları geliştirmeye odaklanmakla birlikte kapsamlı fonksiyonel çok yönlülük elde etmek hâlâ önemli bir engel teşkil etmektedir (Boukid ve Gagaoua, 2022). Bitki bazlı yumurtaların besin içeriği genellikle doğal tavuk yumurtalarının gerisinde kalmakta; bu durum, biyoyararlanabilir mikro besinlerle zenginleştirme gerekliliğini doğurmaktadır (Yüceer, 2021a, 2023a). Öte yandan yumurta fiyatlarının haftalık değişkenlik göstermesi ve hastalık-kalıntı riski taşıması, sektörün ikame arayışını sürdürmesindeki temel motivasyonlardan biridir (Boukid & Gagaoua, 2022; Chabba vd., 2025).

Tablo 6.

Bitki bazlı yumurta alternatiflerinde kullanılan başlıca bileşenler

Bileşen	Kaynak	Sağladığı Fonksiyon
Mung fasulyesi proteini	Mung fasulyesi (Vigna radiata)	Köpük, jelleşme
Bezelye proteini	Pisum sativum	Bağlayıcılık, emülsifikasyon
Nohut proteini	Cicer arietinum	Jelleşme
Aquafaba	Nohut haşlama suyu	Köpük oluşturma
Soya proteini	Glycine max	Emülsifikasyon, jelleşme
Metilselüloz	Selüloz türevi (sentetik)	Isıyla jelleşme/koagülasyon
Kültürlenmiş yumurta proteini	Hassas fermantasyon (mikrobiyal)	Ovalbumine benzer çok yönlü fonksiyon

Kaynak: Boukid ve Gagaoua, 2022; McClements ve Grossmann, 2021a, 2021b; Yüceer, 2024

Yumurta proteinleri, özellikle ovalbumin ve ovotransferrin, yüksek biyolojik değer, tam amino asit profili ve üstün fonksiyonel özellikler (köpürme, jelleşme, emülsifikasyon) sunarken; bitki bazlı proteinler (soya, bezelye, nohut kaynaklı) genellikle bir veya birkaç esansiyel amino asitten (metionin, lizin gibi) sınırlayıcı amino asit içeriğine sahip olup sindirilebilirlikleri de nispeten daha düşüktür. Fonksiyonel açıdan bitki proteinleri, yumurta proteinlerinin sağladığı jel ağı stabilitesine ve köpük hacmine ulaşmakta zorlanmakta, bu nedenle formülasyonlarda hidrokolloidler veya polisakkaritlerle desteklenmesi gerekmektedir. Buna karşın bitki bazlı alternatifler, kolesterol içermemesi, alerjen potansiyelinin (yumurta alerjisi bağlamında) farklı olması ve çevresel ayak izinin (su/toprak kullanımı, karbon emisyonu) daha düşük olması açısından avantaj sağlamaktadır. Yumurta besinsel ve fonksiyonel bütünlük bakımından hâlâ referans ürün konumunu korurken, bitki bazlı proteinler sürdürülebilirlik motivasyonu ile öne çıkmakta, ancak eşdeğer bir ikame sunabilmek için ek işleme ve zenginleştirme stratejilerine ihtiyaç duymaktadır (Chandran vd., 2023; Yüceer, 2024).

Güncel Eğilimler, Araştırma Boşlukları ve Endüstriyel Yönelimler

Son on yıllık dönemde yumurta işleme alanındaki araştırma ve uygulamalarda üç temel eğilimin öne çıktığı görülmektedir. Bunlardan ilki, yüksek basınçlı işleme (HPP), darbeli elektrik alan (PEF), soğuk plazma ve ultrason gibi termal olmayan işleme teknolojilerinin laboratuvar ölçeğindeki uygulamalardan pilot ve endüstriyel ölçeğe taşınmasına yönelik çalışmaların artmasıdır. İkinci eğilim, yumurta proteinlerinden elde edilen hidrolizat ve peptitlerin fonksiyonel gıda ve besin takviyesi sektörlerinde değerlendirilmesine yönelik araştırmaların ve ticari uygulamaların gelişmesidir. Üçüncü olarak ise bitki bazlı ve

hassas fermantasyon teknolojileriyle üretilen yumurta alternatiflerinin, özellikle alerjenlerden kaçınan ve vegan tüketici gruplarına yönelik olarak ticarileşme sürecinin hız kazandığı görülmektedir. Söz konusu üç eğilim, geleneksel yumurta işleme literatürünün ötesine geçerek, yumurta ve yumurta bileşenlerinin yeni teknolojiler ve alternatif üretim yaklaşımları çerçevesinde değerlendirilmesine yönelik güncel araştırma alanlarını ortaya koymaktadır.

Alandaki başlıca araştırma boşlukları şu şekilde özetlenebilir: (a) termal olmayan teknolojilerin endüstriyel ölçekte maliyet-etkinlik analizlerinin sınırlı sayıda olması; (b) yumurta akı bazlı protein tozlarının whey (peyniraltı suyu tozu) proteinine kıyasla sporcu beslenmesi formülasyonlarındaki fonksiyonel ve duyuşal performansına ilişkin karşılaştırmalı, standardize edilmiş çalışmaların azlığı; (c) geleneksel yumurta ürünlerinin (tuzlanmış, fermente) gıda güvenliği risklerine (özellikle ağır metal kalıntısı ve mikrobiyolojik risk) ilişkin güncel, bölgesel verinin kısıtlı olması; (d) bitki bazlı ve hassas fermantasyon kökenli ürünlerin yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) temelli sürdürülebilirlik karşılaştırmalarının henüz olgunlaşmamış olmasından kaynaklanmaktadır.

Endüstriyel açıdan değerlendirildiğinde, yumurta işleme sektörünün gıda güvenliği odaklı otomasyon (gerçek zamanlı Salmonella ve kabuk çatlağı tespiti), yan ürün değerlendirmede döngüsel ekonomi uygulamaları ve tedarik zinciri izlenebilirliğinde dijitalleşme yönünde ilerlediği görülmektedir. Bu yönelimler, derlemenin giriş bölümünde vurgulanan gıda güvenliği ve tedarik zinciri bütünlüğü perspektifiyle doğrudan örtüşmektedir.

Sonuç ve Öneriler

Bu derleme çalışması; yumurta ve yumurta ürünlerinin insan beslenmesi ve gıda endüstrisi için taşıdığı çok boyutlu önemi, güncel bilimsel veriler ışığında ortaya koymaktadır. Besinsel kalitesi, üstün fonksiyonel teknolojik özellikleri, gelişmekte olan termal olmayan işleme teknolojileri ve gıda dışı sektörlerdeki geniş uygulama alanlarıyla yumurta, yalnızca bir gıda maddesi olmaktan öte stratejik bir hammadde niteliği kazanmıştır.

Fonksiyonel yumurta ürünlerinin geliştirilmesi ile yumurta kabuğu ve kabuk zarı gibi yan ürünlerin katma değerli ürünlere dönüştürülmesi, kaynakların etkin kullanımı, çevresel sürdürülebilirlik ve döngüsel ekonomi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Özellikle yumurta işleme yan ürünlerinin gıda, tarım, biyomedikal ve diğer endüstriyel uygulamalarda değerlendirilmesi, atık miktarının azaltılmasının yanı sıra yeni ve sürdürülebilir ürünlerin geliştirilmesine de katkı sağlayabilir. Bununla birlikte, termal olmayan işleme teknolojilerinin endüstriyel ölçekte uygulanabilirliğinin artırılması ve proseslerin ürün

güvenliği ile fonksiyonel özellikler üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı biçimde ortaya konulması önem taşımaktadır. Bitki bazlı ve hassas fermantasyon yoluyla üretilen yumurta alternatiflerinde ise besinsel özelliklerin ve teknolojik fonksiyonların geliştirilmesi, geleneksel yumurtanın çok yönlü işlevlerinin karşılanabilmesi açısından gelecekteki araştırmaların başlıca odak noktalarından biri olacaktır.

Gelecekte yapılacak çalışmaların; (i) yumurta akı bazlı toz ürünlerin sporcu beslenmesinde whey proteinine karşı fonksiyonel ve duyuşal performansının standardize protokollerle karşılaştırılması, (ii) yumurta kabuğu türevli biyomateriyallerin endüstriyel ölçeklendirilmesi, (iii) bitki bazlı ve hassas fermantasyon kökenli ikame sistemlerinin protein matrislerinin optimizasyonu ve (iv) geleneksel yumurta ürünlerinin gıda güvenliği risklerine yönelik güncel, bölgesel verilerin üretilmesi üzerine yoğunlaşması önerilmektedir.

Etik Komite Onayı: Bu çalışmada insan veya hayvan deneyleri yapılmadığı için etik onay gerekmemiştir.

Katılımcı Onamı: Bu çalışma insan katılımcıları içermediğinden katılımcı onamı gerekmemektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Konsept - M.Y., M.A.; Tasarım - M.Y., M.A.; Denetim - M.Y., M.A.; Kaynaklar - M.Y., M.A.; Veri Toplama ve/veya İşleme - M.Y., M.A.; Analiz ve/veya Yorum - M.Y., M.A.; Literatür Taraması - M.Y., M.A.; Yazma - M.Y., M.A.; Eleştirel İnceleme - M.Y., M.A.; Diğer - M.Y., M.A.

Çıkar Çatışması: Yazarlar, çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

Finansal Destek: Yazarlar bu çalışma için finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

Yapay Zekâ Kullanımı: Yazarlar makale yazımında herhangi bir yapay zekâ aracından faydalanmadıklarını beyan etmişlerdir.

Ethics Committee Approval: Ethical approval was not required because this study did not involve human or animal experiments.

Informed Consent: Not applicable, as this study did not involve human participants.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Concept - M.Y., M.A.; Design - M.Y., M.A.; Supervision - M.Y., M.A.; Resources - M.Y., M.A.; Data Collection and/or Processing - M.Y., M.A.; Analysis and/or Interpretation - M.Y., M.A.; Literature Search - M.Y., M.A.; Writing - M.Y., M.A.; Critical Review - M.Y., M.A.; Other - M.Y., M.A.

Conflict of Interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Financial Disclosure: The authors declared that this study has received no financial support.

Use of Artificial Intelligence: The authors has declared that no artificial intelligence tools were used in the writing of the article.

Kaynaklar

Abeyrathne, E., Nam, K. C., Huang, X., & Ahn, D. U. (2022). Egg yolk lipids: separation, characterization, and utilization. *Food Sci Biotechnol*, 31(10), 1243-1256. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01138-4>

- Abeyrathne, E. D., Lee, H. Y., & Ahn, D. U. (2013). Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents--a review. *Poultry Science*, 92(12), 3292-3299. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03391>
- Ahmed, T. A. E., Wu, L., Younes, M., & Hincke, M. (2021). Biotechnological Applications of Eggshell: Recent Advances. *Front Bioeng Biotechnol*, 9, 675364. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.675364>
- Anar, Ş. (2016). *Yumurta ve Yumurta Ürünleri*. Dora Basın-Yayın Dağıtım Ltd. Şti.
- Anton, M. (2013). Egg yolk: structures, functionalities and processes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(12), 2871-2880. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6247>
- Antunez-Medina, J. R., Suárez-Jiménez, G. M., Ocano-Higuera, V. M., Tolano-Villaverde, I. d. J., Ornelas-Paz, J. d. J., Torres-Arreola, W., & Márquez-Ríos, E. (2025). Application of Ultrasound in Proteins: Physicochemical, Structural Changes, and Functional Properties with Emphasis on Foaming Properties. *Processes*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/pr13061646>
- Benede, S., & Molina, E. (2020). Chicken Egg Proteins and Derived Peptides with Antioxidant Properties. *Foods*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/foods9060735>
- Bhargava, N., Mor, R. S., Kumar, K., & Sharanagat, V. S. (2021). Advances in application of ultrasound in food processing: A review. *Ultrason Sonochem*, 70, 105293. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105293>
- Boukid, F., & Gagaoua, M. (2022). Vegan Egg: A Future-Proof Food Ingredient? *Foods*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/foods11020161>
- Buhl, T. F., Christensen, C. H., & Hammershøj, M. (2019). Aquafaba as an egg white substitute in food foams and emulsions: Protein composition and functional behavior. *Food Hydrocolloids*, 96, 354-364. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.041>
- Chabbra, N., Arora, M., Kaur, S., Kaur, A., Parmar, M., Samota, M. K., Selvan, S. S., & Varinda. (2025). Vegan egg analogues: Nutritional composition, processing strategies, and sustainability perspectives. *Food and Humanity*, 5. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2025.100949>
- Chandran, A. S., Suri, S., & Choudhary, P. (2023). Sustainable plant protein: an up-to-date overview of sources, extraction techniques and utilization. *Sustainable Food Technology*, 1(4), 466-483. <https://doi.org/10.1039/d3fb00003f>
- Fernandez, M. L., & Murillo, A. G. (2022). Is There a Correlation between Dietary and Blood Cholesterol? Evidence from Epidemiological Data and Clinical Interventions. *Nutrients*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/nu14102168>
- Fikiin, K., Akterian, S., & Stankov, B. (2020). Do raw eggs need to be refrigerated along the food chain? *Trends in Food Science & Technology*, 100, 359-362. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.003>
- Güner, A., & Telli, N. (2021). Yumurta Ürünleri. In S. Yalçın (Ed.), *Yumurta: Beslenme ve Sağlık* (pp. 101-110). Türkiye Klinikleri.
- Hamidivadigh, F., & Javadpour, J. (2024). The Synthesis of Hydroxyapatite Nanoparticles Using Eggshells and Two Different Phosphate Sources. *European Journal of Engineering and Technology Research*, 9(2), 1-4. <https://doi.org/10.24018/ejeng.2024.9.2.3151>
- Herreman, L., Nommensen, P., Pennings, B., & Laus, M. C. (2020). Comprehensive overview of the quality of plant-And animal-sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score. *Food Sci Nutr*, 8(10), 5379-5391. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1809>
- Jacobson, T. A., Maki, K. C., Orringer, C. E., Jones, P. H., Kris-Etherton, P., Sikand, G., La Forge, R., Daniels, S. R., Wilson, D. P., Morris, P. B., Wild, R. A., Grundy, S. M., Daviglius, M., Ferdinand, K. C., Vijayaraghavan, K., Deedwania, P. C., Aberg, J. A., Liao, K. P., McKenney, J. M., Ross, J. L., Braun, L. T., Ito, M. K., Bays, H. E., Brown, W. V., Underberg, J. A., & Panel, N. L. A. E. (2015). National Lipid Association Recommendations for Patient-Centered Management of Dyslipidemia: Part 2. *J Clin Lipidol*, 9(6 Suppl), S1-122 e121. <https://doi.org/10.1016/j.jacl.2015.09.002>
- Kapoor, M. P., Roy, M. K., & Juneja, L. R. (2010). Processed Egg Products: Perspective on Nutritional Values. In *Handbook of Poultry Science and Technology* (pp. 255-274). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9780470504475.ch19>
- Lechevalier, V., Croguennec, T., Anton, M., & Nau, F. (2011). Processed Egg Products. In *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products* (pp. 538-581). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-754-9.50023-1>
- Li, X., Chen, S., Yao, Y., Wu, N., Xu, M., Zhao, Y., & Tu, Y. (2022). The Quality Characteristics Formation and Control of Salted Eggs: A Review. *Foods*, 11(19). <https://doi.org/10.3390/foods11192949>
- Li, Z., Huang, X., Tang, Q., Ma, M., Jin, Y., & Sheng, L. (2022). Functional Properties and Extraction Techniques of Chicken Egg White Proteins. *Foods*, 11(16), 2434. <https://doi.org/10.3390/foods11162434>
- Li-Chan, E. C. Y., & Kim, H. O. (2008). Structure and Chemical Composition of Eggs. In Y. Mine (Ed.), *Egg Bioscience and Technology*. John Wiley & Sons, Inc.
- Lin, C.-M., Hou, C.-Y., Shih, M.-K., Hsieh, C.-W., Hung, Y.-L., & Huang, P.-H. (2022). Use of Incinerated Eggshells to Produce Pidan. *Sustainability*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/su14116797>

- Manini, I., Trombetta, C. M., Lazzeri, G., Pozzi, T., Rossi, S., & Montomoli, E. (2017). Egg-Independent Influenza Vaccines and Vaccine Candidates. *Vaccines (Basel)*, 5(3). <https://doi.org/10.3390/vaccines5030018>
- McClements, D. J., & Grossmann, L. (2021a). A brief review of the science behind the design of healthy and sustainable plant-based foods. *NPJ Sci Food*, 5(1), 17. <https://doi.org/10.1038/s41538-021-00099-y>
- McClements, D. J., & Grossmann, L. (2021b). The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 20(4), 4049-4100. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12771>
- Mine, Y. (2007). Recent advances in egg protein functionality in the food system. *World's Poultry Science Journal*, 58(1), 31-39. <https://doi.org/10.1079/WPS20020005>
- Miranda, J. M., Anton, X., Redondo-Valbuena, C., Roca-Saavedra, P., Rodriguez, J. A., Lamas, A., Franco, C. M., & Cepeda, A. (2015). Egg and egg-derived foods: effects on human health and use as functional foods. *Nutrients*, 7(1), 706-729. <https://doi.org/10.3390/nu7010706>
- Mohseni Ghaleghazi, A., & Zhong, W. (2025). From Nutrition to Innovation: Biomedical Applications of Egg Components. *Molecules*, 30(15). <https://doi.org/10.3390/molecules30153260>
- Movasaghi, M., Heydari, M. M., Schwean-Lardner, K., Kirychuk, S., Thompson, B., & Zhang, L. (2025). Investigating cold plasma jet effectiveness for eggshell surface decontamination. *Food Control*, 168, 110928. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110928>
- Pohshna, C., & Mailapalli, D. R. (2023). Characterization and Testing of Nanohydroxyapatite Synthesized from Eggshells as a Phosphorus Source for Rice Crops. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(3), 4491-4504. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01366-5>
- Puglisi, M. J., & Fernandez, M. L. (2022). The Health Benefits of Egg Protein. *Nutrients*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/nu14142904>
- Quan, T. H., & Benjakul, S. (2019). Production and characterisation of duck albumen hydrolysate using enzymatic process. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(11), 3015-3023. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14214>
- Rehault-Godbert, S., Guyot, N., & Nys, Y. (2019). The Golden Egg: Nutritional Value, Bioactivities, and Emerging Benefits for Human Health. *Nutrients*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/nu11030684>
- Safwa, S. M., Ahmed, T., Talukder, S., Sarkar, A., & Rana, M. R. (2024). Applications of non-thermal technologies in food processing Industries-A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100917>
- Sainz-Hernández, J. C., Renganathan, P., & Puente, E. O. R. (2026). Eggshell Waste Valorization for Sustainable Agriculture: Applications, Nanotechnology Advances, and Circular Bioeconomy Perspectives. *Clean Technologies*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/cleantechnol8030069>
- Saleh, G., El Darra, N., Kharroubi, S., & Farran, M. T. (2020). Influence of storage conditions on quality and safety of eggs collected from Lebanese farms. *Food Control*, 111, 107058. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107058>
- Samaraweera, H., Zhang, W. G., Lee, E. J., & Ahn, D. U. (2011). Egg yolk phosvitin and functional phosphopeptides--review. *Journal of Food Science*, 76(7), R143-150. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02291.x>
- Sharaf Eddin, A., Ibrahim, S. A., & Tahergorabi, R. (2019). Egg quality and safety with an overview of edible coating application for egg preservation. *Food Chemistry*, 296, 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.182>
- Silva, G. R. D., Menezes, L. D. M., Lanza, I. P., Oliveira, D. D., Silva, C. A., Klein, R. W. T., Assis, D. C. S., & Cancado, S. V. (2017). Evaluation of the alpha-amylase activity as an indicator of pasteurization efficiency and microbiological quality of liquid whole eggs. *Poultry Science*, 96(9), 3375-3381. <https://doi.org/10.3382/ps/pex108>
- Stefanova, I. L., Klimenkova, A. Y., Shakhnazarova, L. V., & Mazo, V. K. (2021). Chicken egg white — characteristics of its properties and the prospects for functional foods development. *Theory and practice of meat processing*, 6(2), 163-173. <https://doi.org/10.21323/2414-438x-2021-6-2-163-173>
- Suhag, R. (2024). Egg Yolk, a Multifunctional Emulsifier: New Insights on Factors Influencing and Mechanistic Pathways in Egg Yolk Emulsification. *Applied Sciences*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/app14219692>
- Sunwoo, H. H., & Gujral, N. (2015). Chemical Composition of Eggs and Egg Products. In *Handbook of Food Chemistry* (pp. 331-363). https://doi.org/10.1007/978-3-642-36605-5_28
- Tahergorabi, R., & Jaczynski, J. (2017). Nutraceutical Egg Products. In *Egg Innovations and Strategies for Improvements* (pp. 271-280). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-800879-9.00026-3>
- Usturoi, M. G., Rațu, R. N., Crivei, I. C., Veleșcu, I. D., Usturoi, A., Stoica, F., & Radu Rusu, R.-M. (2025). Unlocking the Power of Eggs: Nutritional Insights, Bioactive Compounds, and the Advantages of Omega-3 and Omega-6 Enriched Varieties. *Agriculture*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/agriculture15030242>

- Vaclavik, V. A., & Christian, E. W. (2003). Egg and Egg Products. In V. A. Vaclavik & E. W. Christian (Eds.), *Essentials of Food Science, Second. Ed.* (pp. 187-213). Kluwer Academic / Plenum Publishers.
- Vu, N.-T., Dinh, T.-H., Le, T.-T.-C., Vu, T.-T.-H., Nguyen, T.-T.-T., Pham, T.-A., Vu, N.-L., Koji, S., Hama, S., Kim, I.-S., Jang, D.-C., Kim, D.-H., & Tran, A.-T. (2022). Eggshell powder as calcium source on growth and yield of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Plant Production Science*, 25(4), 413-420. <https://doi.org/10.1080/1343943x.2022.2120506>
- Wang, X., Zhang, J., Vidyarthi, S. K., Xu, M., Liu, Z., Zhang, C., & Xiao, H. (2024). A comprehensive review on salted eggs: quality formation mechanisms, innovative pickling technologies and value-added applications. *Sustainable Food Technology*, 2(5), 1409-1427. <https://doi.org/10.1039/d4fb00129j>
- Wu, B.C., & McClements, D. J. (2015). Design of reduced-fat food emulsions: Manipulating microstructure and rheology through controlled aggregation of colloidal particles and biopolymers. *Food Research International*, 76, 777-786. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.06.034>
- Yogesh, K. (2016). Pulsed electric field processing of egg products: a review. *J Food Sci Technol*, 53(2), 934-945. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2061-3>
- Yüceer, M. (2019). *Yumurta ve yumurta ürünleri işleme teknolojisi ve uygulamaları* Sidas Medya Ltd.Şti. İzmir, Türkiye. <http://www.gidakitaplari.com/KD/1078/yumurta-ve-yumurta-urunleri-isleme-teknolojisi-ve-uygulamaları>
- Yüceer, M. (2020). Sıvı yumurta sarısının ultrases tekniğiyle işlenmesi ile yapısal özelliklerinin karakterizasyonu ve reolojik davranışının belirlenmesi. *Akademik Gıda*, 18(4), 402-410. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.850921>
- Yüceer, M. (2021a). Yumurta Alternatifleri ve Yumurta İkameleri olarak Kullanım İmkanları. *Yumurta Üreticileri Merkez Birliği Dergisi*, 56, 8-10.
- Yüceer, M. (2021b). Yumurta Biyoaktif Bileşenleri (1): Ovalbumin. *Yumurta Üreticileri Merkez Birliği Dergisi*, 57, 15-17.
- Yüceer, M. (2022). Yumurta Biyoaktif Bileşenleri (2): Lizozim. *Yumurta Üreticileri Merkez Birliği Dergisi*, 58, 30-33.
- Yüceer, M. (2023a). Gıda Analoglarının Sağlıklı ve Helal Olma Şartları Yumurta Örneği. *Helal Yaşam Rehberi Dergisi*, 17(93), 22-25.
- Yüceer, M. (2023b). Yumurta ve Ürünlerinin Muhafazasında Gıda Güvenliği, Kontrol-İzleme Sistemleri ve Soğuk Zincir Uygulamaları. *Yumurta Üreticileri Merkez Birliği Dergisi*, 62, 32-34.
- Yüceer, M. (2024). Egg Analogues. In Ö. P. Can, M. Göksel S., & D. Aslan Türker (Eds.), *Food Analogues: Emerging Methods and Challenges* (pp. 75-90). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69872-9_3
- Yüceer, M., & Caner, C. (2019). Endüstriyel Yumurta Ürünlerinin Helal Gıda Açısından Üretim Şartlarının İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. *Journal of Halal Life Style*, 1(1), 23-34. <https://dergipark.org.tr/download/article-file/748070>
- Yüceer, M., Çelikten, C., Mavuş, R., Dişli, E., Ağırallı Akgün, Ş., & Sarı, E. (2023). Yumurta Akından Lizozim Ekstraksiyonu, Saflaştırılması ve Kurutulması: Güncel Gelişmeler ve Uygulamaları. *International Journal of Life Sciences and Biotechnology*, 6(1), 245-261. <https://doi.org/10.38001/ijlsb.1227391>
- Yüceer, M., Mavuş, R., & Işık, E. (2026). Kabuklu Yumurtada Isıl Olmayan İşleme ve Muhafaza Teknikleri: Güncel Yaklaşımlar ve Gelecek Perspektifler [Non-Thermal Processing and Preservation Techniques for Shell Eggs: Current Approaches and Future Perspectives]. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(1), 339-356. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.1773439>
- Yüceer, M., Temizkan, R., & Caner, C. (2012). Fonksiyonel gıda olarak yumurta: Bileşenleri ve fonksiyonel özellikleri. *Akademik Gıda*, 10(4), 70-76. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1189147>
- Zahir, A., & Akhter, S. (2025). Exploring the pros and cons of plant-based egg alternatives – A review. *NFS Journal*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2025.100241>
- Zhang, P., Liu, L., Huang, Q., Li, S., Geng, F., Song, H., An, F., Li, X., & Wu, Y. (2024). Mechanism study on the improvement of egg white emulsifying characteristic by ultrasound synergized citral: Physicochemical properties, molecular flexibility, protein structure. *Ultrason Sonochem*, 111, 107104. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107104>
- Zhang, X., Chelliappan, B., S, R., & Antonysamy, M. (2021). Recent Advances in Applications of Bioactive Egg Compounds in Nonfood Sectors. *Front Bioeng Biotechnol*, 9, 738993. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.738993>
- Zonato, R. d. O., Estevam, B. R., Perez, I. D., Aparecida dos Santos Ribeiro, V., & Boina, R. F. (2022). Eggshell as an adsorbent for removing dyes and metallic ions in aqueous solutions. *Cleaner Chemical Engineering*, 2. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100023>