

Sürdürülebilir ve Yeni Bir “Gıda” Alternatifi Olarak Yenilebilir Böcekler

Ali Emre Andaç¹, Neşe Yılmaz Tuncel^{2,*}

¹Gıda Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

²Gıda Teknolojisi Bölümü, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale, Türkiye

Makale Tarihçesi

Gönderim: 03.07.2022

Kabul: 12.10.2022

Yayın: 05.03.2023

Derleme Makale

Öz – Bazı böcek türlerinin insanlar tarafından tüketilmesi yeni bir konu olmamakla birlikte, son yıllarda özellikle nüfusun ve hayvansal protein talebinin artışı ile birlikte yeniden ele alınan bir konudur. Böceklerin hâlihazırda en az 2 milyar insan tarafından tüketildiği tahmin edilmektedir. Diğer pek çok hayvansal kaynağa göre daha az yem ile daha fazla vücut ağırlığı kazanımı ve küresel ısınmada çok önemli rol oynayan sera gazı salınımındaki payının oransal olarak çok daha az olması, yenilebilir böceklerin gelecek senaryolarında hem insan gıdası hem de hayvan yemi olarak potansiyelinin değerlendirilmesini önemli kılmaktadır. Besinsel açıdan değerlendirildiğinde yenilebilir böceklerin protein, yağ, diyet lif ve mineral bakımından oldukça zengin kaynaklar olduğu görülmektedir. Bu besin öğeleri içerisinde özellikle protein miktar ve kalitesi dikkat çekmektedir. Diğer yandan, yenilebilir böcekler geleneksel hayvansal kaynaklara kıyasla daha az yem ve su kullanılarak, daha küçük alanlarda yetiştirilebilmekte olup, atık miktarları da oldukça düşüktür. Bununla birlikte, yenilebilir kabul edilen bu böcek türlerinin yetiştirilmesi oldukça yeni bir konu olup hem gıda güvenliği hem de doğal denge bakımından bazı riskler taşımaktadır. Konuya ilişkin yasal mevzuatlarda da ciddi bir boşluk söz konusudur. Yenilebilir böceklere olan ilgi ve bu konudaki bilimsel araştırmaların sayısı son yıllarda dikkate değer bir artış göstermiştir. Bu çalışmada; yenilebilir böceklerin besleyicilik değeri, üretimi, işlenmesi, depolanması, ekonomisi, sağlık ve çevre üzerine etkileri, tüketici kabulü ve yasal düzenlemeler gibi başlıklar ele alınarak konu çok boyutlu bir yaklaşımla ve güncel literatürler taranarak derlenmiştir.

Anahtar Kelimeler – Alternatif protein kaynakları, küresel ısınma, sürdürülebilirlik, yeni gıdalar, yenilebilir böcekler

Edible Insects as a Sustainable and Novel “Food” Alternative

¹Department of Food Engineering, Faculty of Engineering, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Türkiye

²Department of Food Technology, Faculty of Applied Sciences, Çanakkale Onsekiz Mart University, Çanakkale, Türkiye

Article History

Received: 03.07.2022

Accepted: 12.10.2022

Published: 05.03.2023

Review Article

Abstract – Although the consumption of some insect species by humans is not a novel issue, it has been a topic that has been reconsidered in recent years, especially with the increase in population and demand for animal protein. It is estimated that insects are currently consumed by at least 2 billion people. Compared to many other animal sources, gaining more body weight with less feed and the proportionally lower share of greenhouse gas emissions, which play a very important role in global warming, makes it important to evaluate the potential of edible insects as both human food and animal feed in future scenarios. From a nutritional point of view, it is indicated that edible insects are rich sources of protein, fat, dietary fiber, and minerals. Among these nutrients, especially the amount and quality of the protein draws attention. On the other hand, edible insects can be grown in smaller areas using less feed and water when compared to traditional animal sources, and the amount of waste is quite low. However, breeding of edible insects is a fairly new issue and involve some risks in terms of both food safety and natural balance. There is also a serious gap in the legal regulations on the subject. Interest in edible insects and the number of scientific researches on this subject have considerably increased in recent years. In this study, topics such as nutritional value, production, processing, storage, economy, health and environmental effects of edible insects, consumer acceptance and legal regulations have been discussed and the subject has been compiled with a multidimensional approach by reviewing the most up-to-date literature.

Keywords – Alternative protein source, edible insects, global warming, novel foods, sustainability

¹ aliemreandaciletisim@gmail.com

² neseyilmaz@comu.edu.tr

*Sorumlu Yazar

1. Giriş

Son yıllarda gıda konusundaki en büyük endişelerden biri hızlı bir şekilde büyüyen dünya nüfusunun sürdürülebilir biçimde beslenmesini sağlamaktır. 2050 yılında dünya nüfusunun 9 milyar olacağı tahmin edilmekte ve bu nüfusu beslemek için bugün ürettiğimiz gıda miktarını neredeyse iki katına çıkarmamız gerekmektedir (FAO, 2022; Van Huis vd., 2013). Tüm dünyada ve özellikle gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde yetersiz beslenme ve gıda güvenliğinin sağlanamaması gibi sorunlar halen önemli küresel sorunlardandır. 800 milyondan fazla birey sağlıklı ve aktif bir yaşam sürdürmek için gerekli gıdaya sahip değil iken, özellikle Güney Asya ve Afrika ülkeleri en yüksek açlık oranlarına sahiptir (Tao ve Li., 2018). Bunun yanında, Dünya Sağlık Örgütü'nün tahminlerine göre küresel olarak 2 milyar insandan fazlası mikro besin ögesi eksikliğinden etkilenmektedir (WHO, 2021).

Kaynakların sınırlı olması, daha fazla üretimin karbon ve su ayak izlerini arttırması dolayısıyla sürdürülebilirlik bakımından bazı sakıncaları beraberinde getirmesi ve küresel ısınmanın getireceği kısıtlamalar düşünüldüğünde gıda üretiminin yeniden ve daha farklı bir perspektifle ele alınması gerektiği aşikârdır. Bu bağlamda geliştirilen stratejileri temel olarak 2 kategoriye ayırmak yanlış olmaz: Gıda kayıp ve atıklarının azaltılması ve yeni gıda kaynakları ile üretim stratejileri geliştirilmesi.

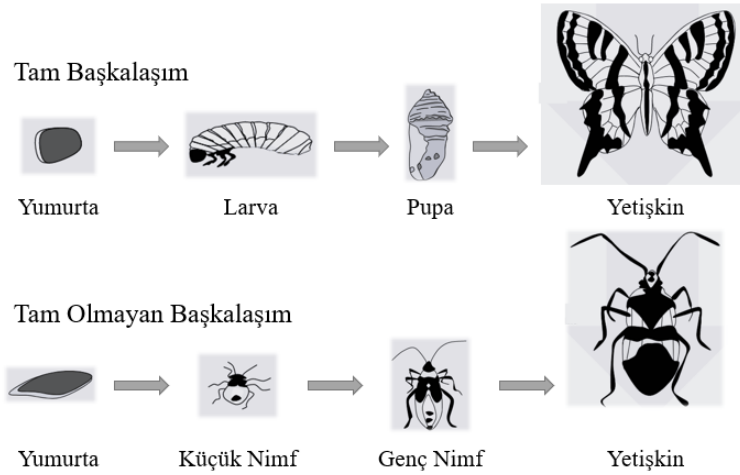
Bu bağlamda “yeni” bir gıda kaynağı olarak yenilebilir böcekler dikkat çekmektedir. Hayvansal proteinin her bakımdan maliyetinin artması, gıda ve yem konusundaki güvenlik endişeleri, çevresel etkiler, nüfus artışı gibi pek çok sebep 21. yüzyılda böceklerin bir gıda kaynağı olarak yeniden ele alınmasına neden olmuştur. Yunanca kökenli bir kelime olan “entomofaji” kavramı (έντομον éntomon, “böcek” ve φαγείν phagein, “yemek”) böceklerin insanlar tarafından tüketilmesini ifade etmektedir ve bu, insanlar için yeni bir olgu değildir (Evans vd., 2015). Bulunan arkeolojik kanıtlar, insanların evrimsel tarihinde böceklerin köklü bir geçmişe sahip olduğuna işaret etmektedir (Peniche, 2021). Böcekleri içeren beslenmenin ilk kayıtları Altamira’da (Kuzey İspanya) keşfedilen, petek ve arıları temsil eden mağara resimlerinde gözlenmekte ve milattan önce yaklaşık 30.000-9.000 yıllarına dayanmaktadır (Baiano, 2020).

Böcekler bugüne kadar bilinen bir milyondan fazla türü ve keşfedilmeyi bekleyen daha milyonlarcası ile hayvanlar arasında sayıca en fazla bulunan özel bir gruptur. Yenilebilir böceklere olan ilgi ve bu konudaki bilimsel yayınların sayısı özellikle 2010’lu yıllardan beri her geçen yıl artmaktadır (Del Mastro, 2021; Meyer-Rochow ve Jung, 2020; Van Huis, 2021b). Küresel olarak en yaygın tüketilen böcekler sırasıyla; kın kanatlılar (*Coleoptera*, %31), pul kanatlılar (tırtıllar) (*Lepidoptera*, %18), zar kanatlılar (arılar, eşek arıları, karıncalar) (*Hymenoptera*, %14), düz kanatlılar (çekirgeler, cırcır böcekleri) (*Orthoptera*, %13), yarım kanatlılar (ağustos böcekleri, bitki piresi, kabuklu bitler, gerçek böcekler) (*Hemiptera*, %10), termitler (*Isoptera*, %3), kız böcekleri (helikopter böceği) (*Odonata*, %3), çift kanatlılar (sinekler) (*Diptera*, %2) ve diğer (%5) çeşitlerdir (FAO, 2020).

Bu çalışmada, gelecekte insan diyetlerinde önemli bir gıda kaynağı olacağı düşünülen yenilebilir böceklere; besleyicilik özellikleri, sağlık üzerine etkileri, çevresel etkileri, üretimi, işlenmesi ve depolanması, ekonomik etkisi, tüketici kabulü, gıda güvenliği ve yasal düzenlemeler başlıkları altında genel bir inceleme yapılmıştır. Konu hakkında literatür kısıtlı olmakla birlikte, yapılan yayınların sayısı her geçen yıl artmaktadır.

2. Yenilebilir Böceklerin Besleyicilik Değeri ve Sağlık Üzerine Etkileri

Günümüzde geleneksel olarak çeşitli popülasyonlar tarafından tüketilen böceklerin gelecekte insan beslenmesinde daha fazla yer alabileceği öngörülmektedir. Öncelikle, yenilebilir böceklerin besleyicilik değeri göz önünde bulundurulmalıdır. Böcekler proteinler, yağlar ve diyet lifleri bakımından zengindir ve türe bağlı olarak 100 gramda yaklaşık 400-500 kcal enerji sağlamaktadır (Rumpold ve Schlüter, 2015). Yenilebilir böceklerin ortalama besleyicilik değerleri ve sağladıkları enerji Tablo 1’de gösterilmektedir. Tür, yaşam evresi (Şekil 1), beslenme, cinsiyet, gelişme ortamı, inaktivasyon/öldürme şekli ve işleme metotları böceklerin besin ögesi kompozisyonu etki eden faktörler arasındadır (Meyer-Rochow, Gahukar, Ghosh ve Jung, 2021; Oonincx ve Finke, 2021).



Şekil 1. Böceklerin Yaşam Evreleri (Biology Dictionary, 2022)

Tablo 1

Yenilebilir böceklerin ortalama besleyicilik değerleri (Rumpold ve Schlüter, 2015)

	Protein (%)	Yağ (%)	Diyet Lifi (%)	Kül (%)	Enerji (kcal/100g)
Çekirgeler ve cırcır böcekleri (<i>Orthoptera</i>)	61.32	13.41	9.55	3.85	426.25
Hamam böcekleri (<i>Blattodea</i>)	57.30	29.90	5.31	2.94	-
Kız böcekleri (<i>Odonata</i>)	55.23	19.83	11.79	8.53	431.33
Sinekler (<i>Diptera</i>)	49.48	22.75	13.56	10.31	409.78
Yarım kanatlılar (<i>Hemiptera</i>)	48.33	30.26	12.40	5.03	478.99
Arılar, eşek arıları ve karıncalar (<i>Hymenoptera</i>)	46.47	25.09	5.71	3.51	484.45
Tırtıllar (<i>Lepidoptera</i>)	45.38	27.66	6.6	4.51	508.89
Kın kanatlılar (<i>Coleoptera</i>)	40.69	33.40	10.74	5.07	490.30
Termitler (<i>Isoptera</i>)	35.34	32.74	5.06	5.88	-

Yenilebilir böceklerin önemli bir bileşeni olan proteinler kuru maddede yaklaşık %35-60 arasında değişen miktarlarda bulunmaktadır (Dobermann, Swift ve Field, 2017). Özellikle *Orthoptera* (çekirge, cırcır böceği vb.) grubu böcekler protein içeriği bakımından oldukça zengindir. Bazı çekirge türlerinin protein içeriğinin kuru maddede %77'ye kadar çıktığı rapor edilmektedir (Ayensu, Annan, Edusei ve Lutterodt, 2019). Yaklaşık %36 protein içeriğine sahip olan soya fasulyesi gibi bitkisel kaynaklarla karşılaştırıldığında böceklerin alternatif protein kaynağı olarak önemi ortaya çıkmaktadır (Rumpold ve Schlüter, 2015). Yenilebilir böcek proteinleri esansiyel aminoasitleri yeterince içerdikleri için yüksek kaliteli özellik taşımaktadır. Çoğu böcek türü Dünya Sağlık Örgütü'nün diyetteki amino asit önerilerini karşılamaktadır (Gravel ve Doyen, 2020; Tang vd., 2019). Bunun yanında, yenilebilir böcek proteinlerinin insanlar tarafından yüksek oranda sindirilebildiği belirtilmektedir (Dür ve Ratompoarison, 2021). Cırcır böceği (*Gryllus assimilis*), güve (*Cirina forda*), çekirge (*Melanoplus foedus*) ve termitin (*Macrotermes nigerensis*) biyolojik değerinin (%85.49-93.02) kazeine göre (%73.45) daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Ojha, Bekhit, Grune ve Schlüter, 2021a).

Diğer yandan Boulos, Tännler ve Nyström, (2020) yenilebilir böceklerin protein miktarlarının gerçekte olduğundan daha fazla bulunduğunu, bunun da temel olarak azotun proteine çevirim faktöründen kaynaklandığını belirtmiştir. Bilindiği gibi Kjeldahl gibi pek çok protein tayin metodunda esasen azot tespit edilmekte ve proteinlerdeki azot oranının ortalama %16 olduğu genel varsayımından yola çıkarak “6.25”, genel azotu proteine çevirme faktörü olarak kullanılmaktadır. Burada göz ardı edilen temel gerçeklik bulunan azotun tamamının protein kaynaklı olmadığıdır. Güvenilir ve kesin bir sonuç olmak için amino asit analizi yapılmalı veya söz konusu kaynağa özgü daha spesifik bir protein çevrim faktörü hesaplanmalıdır. Bu bağlamda Boulos vd. (2020) un kurdu larvası (*T. molitor*), ev cırcırı (*A. domesticus*) ve göçmen çekirge (*L. migratoria*) örneklerini analiz etmişler ve bu örneklerin oldukça benzer amino asit profillerine sahip olduklarını, gerçek protein miktarlarının da sırasıyla 51, 55 ve 47 g/100 g (kuru maddede) olduğunu tespit etmişlerdir. Araştırmacılar sözü edilen her bir böcek türüne spesifik olarak kullanılması gereken azot protein çevrim faktörünü 5.41 (un kurdu), 5.25 (cırcır böceği) ve 5.33 (çekirge) olarak hesaplamış ve böylece literatürde geleneksel 6.25 azot çevrim faktörünü kullanan çalışmalarda yenilebilir böceklerin protein miktarının gerçekte olduğundan yaklaşık %17 civarında daha fazla hesaplandığını bildirmişlerdir (Boulos vd., 2020). Benzer biçimde Janssen, Vincken, Van Den Broek, Fogliano ve Lakemond vd. (2017) de un kurdu ve cırcır böceklerinin her ikisi için de azot çevrim faktörünü 4.7 olarak hesaplamıştır (Janssen vd., 2017).

Yenilebilir böceklerde proteinden sonra bulunan ana bileşen yağdır ve kuru maddede %7-77 arasında değişen miktarlarda bulunmaktadır (Elhassan, Wendin, Olsson ve Langton, 2019). Yağ asidi profilleri değerlendirildiğinde böceklerin genellikle çoklu doymamış yağ asitleri bakımından zengin olduğu görülmektedir (Kim, Yong, Kim, Kim ve Choi, 2019). Çoklu doymamış yağ asidi içeriği toplam yağ asidi miktarının %75’ine ulaşabilmektedir. Özellikle *Orthoptera* (çekirge, cırcır böceği vb.) ve *Lepidoptera* (turtul vb.) grubu bu bakımdan zengindir. Un kurtlarının omega-3 çoklu doymamış ve diğer yağ asitleri kompozisyonu balıkta bulunan ile karşılaştırılabilir seviyede iken domuz ve sığırlardan daha yüksektir. Karada yaşayan böceklerin çoklu doymamış yağ asidi içeriği suda yaşayanlara göre daha yüksektir (Lange ve Nakamura, 2021). Bununla birlikte, böceklerin yağ profilleri beslemede kullanılan yemden de oldukça etkilenmektedir. Genellikle larvalar olgun böceklerden daha fazla yağ içeriğine sahip olmaktadır (Da Silva Lucas, De Oliveira, Da Rocha, Prentice, 2020).

Yenilebilir böceklerin karbonhidrat içeriği genellikle düşüktür (%6.71-15.98) ve çoğunlukla kitin formundadır (De Carvalho, Madureira ve Pintado, 2020). Böceklerin ve kabukluların dış iskeletlerinde yer alan ve yapısal olarak poli-beta-1,4-N-asetilglukozamin olan kitin (11.6-137.2 mg/kg), diyet lifi açısından oldukça zengindir (Melgar-Lalanne, Hernández-Álvarez ve Salinas-Castro, 2019). Bütün halde kurutulmuş böcekler en az %10 kitin içermektedir ve insanlar için potansiyel bir prebiyotik kaynağıdır (Imathiu, 2020). Kitin ve kitosan başlıca kabukluların dış iskeletlerinden elde edilmekte iken, böcekler bu iki maddenin alternatif bir kaynağı olma potansiyeline sahiptir (Saadoun vd., 2022).

Yenilebilir böcekler, yüksek kaliteli proteinlerinin yanında yüksek mineral madde içeriği ile de dikkat çekmektedir (Gabaza, Shumoy, Muchuweti, Vandamme ve Raes, 2018; Mwangi, 2018). Yenilebilir böceklerin mikro besin ögesi içeriğinin genellikle beslemede kullanılan yemden etkilendiği düşünülmektedir. Böceklerin mineral madde içeriği türler arasında ve aynı tür içinde oldukça değişkendir. Bununla birlikte, yenilebilir böcek tüketimi önemli miktarlarda bakır, demir, magnezyum, mangan, fosfor, selenyum ve çinko sağlamaktadır. Yenilebilir böcekler aynı zamanda bazı vitaminlerin de kaynağıdır. Genel olarak riboflavin (B₂), pantotenik asit (B₅), folik asit (B₉) ve biyotin (B₇) içerikleri yüksektir. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO)’ne göre böcekler, mineral ve vitamin içeriği bakımından günlük önerilen miktarları karşılamaya yardımcı olabilir nitelik taşımaktadır (Ordoñez-Araque ve Egas-Montenegro, 2021).

Yenilebilir böceklerin diyetlere dâhil edilmesiyle insanlara gastrointestinal sağlığın iyileştirilmesi, bağışıklık fonksiyonlarının artırılması ve bakteriyel enfeksiyon riskinin azaltılması gibi birtakım sağlık yararları sağlama potansiyeli olduğu belirtilmektedir. Bu bakımdan özellikle kitin, kısa zincirli ve orta zincirli yağ asitleri ve glikozaminoglikanlar gibi bileşenler öne çıkmaktadır (Nowakowski, Miller, Miller, Xiao ve Wu, 2021). Ayrıca, yenilebilir böcek proteinlerinin antioksidan, antihipertansif, antikarsinojen, antiinflamatuvar, antiobezite, antidiyabetik ve antimikrobiyal etkileri de rapor edilmiştir (Borrelli vd., 2021; Lee vd., 2021).

3. Yenilebilir Böceklerin Çevresel Etkisi

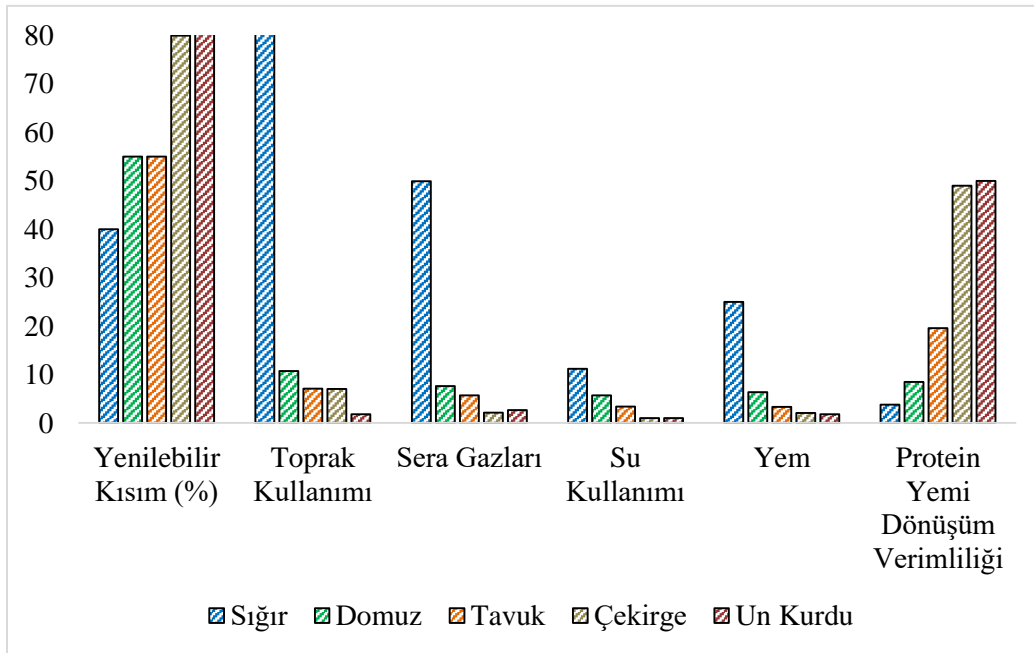
Dünya nüfusunun artmasıyla birlikte yükselen gıda talebi küresel olarak sürdürülemez hasat ve üretim uygulamalarını artırmaktadır. Bu uygulamalar da habitat kaybına, ormanların tahrip edilmesine, yüksek düzeyde hayvan yetiştirilmesi ve sera gazlarının artmasına yol açmaktadır. Bu sorunlara çözüm olarak özellikle

kırmızı et tüketiminin azaltılması, tarımsal üretim veriminin artırılması ve üretim için daha az toprak ve su kullanılacak alternatif gıda kaynaklarına yönelim önerilmektedir (Mariutti vd., 2021).

Sürdürülebilirlik, günümüz dünyasının ve gelecek nesillerin ihtiyaçlarını göz önünde bulundurarak kaynakların en verimli şekilde kullanılması şeklinde tanımlanmaktadır (Galanakis, 2019). Gıda üretiminin çevreye olan etkisi bu başlık altında giderek daha fazla öne çıkmaktadır. Gıda üretiminin çevreye olan etkisi tüm süreç boyunca kullanılan kaynakların karbon ayak izi hesaplanarak belirlenmektedir. Karbon ayak izi, bir ürünün üretimi, kullanımı ve nihai bertarafı sırasında yayılan sera gazlarının kg ürün başına ifade edilen toplam miktarıdır (Clune vd., 2017). Kyoto protokolüne göre ölçüt alınan sera gazları karbondioksit, metan, nitroz oksit, hidrofloro karbonlar, perfloro karbonlar ve sülfür heksaflorittir. Karbon ayak izi hesaplanmasında karbondioksit baz alındığından diğer sera gazlarının karbondioksit eşdeğerleri kullanılmaktadır.

Gıda üretiminin çevreye olan etkisi konusunda genellikle göz ardı edilen ancak önemli olan diğer bir husus ise su ve toprak kullanımıdır. Dünyadaki tatlı su kaynakları sınırlıdır ve yaklaşık %70'i tarım ve hayvancılık endüstrileri tarafından kullanılmaktadır. Bunun yanında, yakın gelecekte Dünya nüfusunun üçte ikisinin su kaynakları sınırlı ve tehlikede olan bölgelerde yaşayacağı tahmin edilmektedir. Ayrıca, günümüzde küresel tarıma elverişli alanların %70'i de hayvancılık endüstrisi tarafından kullanılmaktadır (Kawabata, Berardo, Mattei ve Pee, 2020; Kemsawasd, Inthachat, Suttisansanee ve Temviriyankul, 2022).

Mevcut gıda sistemi artan dünya nüfusu için besleyici ve yüksek protein içerikli gıdaları üretme konusunda zorluklar yaşamaktadır. Sınırlı tarım alanları ve su kaynakları ile 9 milyar olması beklenen küresel nüfusun beslenmesi için gerekecek gıda talebi artışı karşılayıp karşılayamayacağı konusunda endişeler bulunmaktadır (Do, Ramudhin, Colicchia, Creazza ve Li, 2021). Bu endişeler insanları sürdürülebilir alternatif gıda (böcekler, mantarlar, algler vb.) ve yem kaynaklarına (böcekler, gıda yan ürünleri vb.) yöneltmektedir. Böceklerin önemli besleyicilik değerinin yanı sıra görece daha sürdürülebilir bir kaynak oluşları (Şekil 2) küresel popülerliklerini artırmaktadır (FAO, 2021).



Şekil 2. Geleneksel çiftlik hayvanları ile karşılaştırıldığında çekirge ve un kurdunun çevresel ayak izi (FAO, 2021; Ponce-Reyes ve Lessard, 2021)

*Yenilebilir Kısım: Yüzde (%) (Un Kurdu: % 100)

*Toprak Kullanımı: 100 gram protein üretimi için gerekli olan alan (m²) (Sığır: 163.6 m²)

*Sera Gazları: 100 gram protein için üretilen miktar (kg CO₂-e)

*Su Kullanımı: 100 gram hayvan ağırlığı için gerekli olan miktar (ton)

*Yem: Her hayvandan 1 kg üretimi için gerekli olan miktar (kg)

*Protein Yem Dönüşüm Verimliliği: Yüzde (%)

Böcekler, yemi gıdaya dönüştürme oranı açısından oldukça verimlidir. Dönüşüm oranı yaklaşık %50'dir, yani 1 kg protein üretimi için 2 kg yem kullanılması yeterlidir. Böceklerin yaklaşık %80'i yenilebilirdir ve daha düşük miktarlarda gıda ve su ihtiyacına sahiptir. Böylelikle, böceklerle ilişkili atık miktarı daha azdır. Un kurtları ile kıyaslandığında, tavuklar üç kat daha fazla alana ihtiyaç duymakta ve iki kat daha fazla sera gazı salınımına neden olmakta iken; sığırlar on kat daha fazla alana ihtiyaç duymakta ve 18 kat daha fazla sera gazı salınımına neden olmaktadır. Çekirge ve un kurtları aynı miktarda protein üretmek için sığır yetiştiriciliği için gereken yemin onda birinden daha azına ihtiyaç duymaktadır (Ponce-Reyes ve Lessard, 2021). Böcek üretiminin düşük çevresel ayak izi, onları sürdürülebilir ve ekonomik alternatif protein kaynağı olma potansiyeli bakımından çekici kılmaktadır (Delvendahl, Rumpold ve Langen, 2022; La Barbera, Verneau, Videbæk, Amato ve Grunert, 2020).

Günümüzde, üretilen ürünlerin çevreye olan etkisinin değerlendirilmesinde genellikle karbon ayak izi ve yaşam döngüsü analizi kavramları öne çıkmaktadır. Bir ürünün üretim, kullanım ve bertaraf edilmesi sürecinde çevreye yaydığı sera gazının kilogram ürün başına toplam miktarı karbon ayak izi ile ifade edilmektedir. Kısaca, insan faaliyetleri ile üretilen bir ürünün doğrudan veya dolaylı olarak neden olduğu sera gazı salınımı anlamına gelmektedir. Şekil 2'den görülebildiği gibi çekirge ve un kurdunun karbon ayak izleri sığır, domuz ve tavuğa göre oldukça düşüktür. Yapılan yaşam döngüsü analizlerine (bir ürünün yaşam döngüsü sürecince girdilerinin, çıktılarının ve potansiyel çevresel etkisinin değerlendirilmesi) göre yenilebilir böceklerin insan gıdası veya hayvan yemi olarak üretimlerinin çevresel etkisinin diğer hayvancılık ürünlerine göre oldukça düşük olduğu ve sürdürülebilir sistemler konusunda önemli bir potansiyele sahip olduğu ortaya çıkmaktadır (Dreyer vd., 2021; Halloran, Roos, Eilenberg, Cerutti ve Bruun, 2016; Nikkhah vd., 2021; Smetana, Spykman ve Heinz, 2021). Diğer yandan konu daha derin araştırmalara muhtaç olmakla beraber, böceklerin, memelilere ve kuşlara göre zoonoz hastalıkların insana, diğer hayvanlara ve vahşi yaşama geçişleri bakımından daha az riskli oldukları bildirilmektedir (Dicke vd., 2020; Doi, Gałçeki ve Mulia, 2021; FAO, 2020; Kemsawasd, Inthachat, Suttisansanee ve Temviriyankul, 2022; Lange ve Nakamura, 2021; Van Huis vd., 2013).

4. Yenilebilir Böceklerin Üretimi, İşlenmesi ve Depolanması

Yenilebilir böceklerin gıda veya yem olarak kullanımının artırılması için böcek tarımının desteklenmesi gerekmektedir. Dünya genelinde yenilebilir böceklerin büyük bir çoğunluğu yabani ortamdan (ormanlar, çöller, su yolları ve tarımsal alanlar) hasat edilmekte ve sadece küçük bir kısmı özel olarak yetiştirilmektedir (Guiné, Correia, Coelho ve Costa, 2021). Bunun sonucunda bazı önemli dezavantajlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin, yabani ortamdan elde edilen böceklerin kalitesi ve güvenliği garanti edilememektedir. Bunun yanında, kontrolsüz hasat ve aşırı kullanım bazı türlerin soyunun tükenmesine neden olabilmekte ve her böcek tipi tamamen yapay ortamlarda yetiştirilememektedir (Gahukar, 2020; Van Huis ve Oonincx, 2017). İnsan gıdası olarak böcek yetiştiriciliği oldukça yeni bir konu olmakla birlikte tropik bölgelerde, Tayland ve Vietnam'da özellikle cırcır böceği (crickets) üretim tesislerinin örnekleri bulunmaktadır. Daha ılıman bölgelerde böcek yetiştiriciliği daha ziyade küçük aile şirketleri tarafından yürütülmekte ve esasen evcil hayvan veya hayvanat bahçelerine yönelik olarak üretim yapılmaktadır. Endüstriyel ölçekte böcek üretimi yapan birkaç işletme mevcut olsa da insan tüketimine yönelik ticarileşmiş böcek üretimi hala düşük düzeydedir. Bunun temel sebebi mevcut böcek üretim sistemlerinin yüksek maliyetli olması ve otomasyona geçilmemiş olmasıdır. Ancak, konuya ilişkin çok sayıda patent başvurusu söz konusu olup değerlendirilmektedir (Van Huis vd., 2013).

Yenilebilir böcek tarımının şüphesiz bazı avantajları da bulunmaktadır. Örneğin, tarım ürünlerine zarar veren böcek türlerinin pestisit ve insektisit gibi çeşitli kimyasallar ile kontrol edilmesinin yerine bu böceklerin kontrollü ortamlarda yetiştirilmesi hem tarım ürünlerini hem de çevreyi koruyacaktır (FAO, 2021; Patel, Suleria ve Rauf, 2019). Bu konudaki ilginç durumlardan birisi de, örneğin %14'ten fazla olmayan bitkisel protein içeren kaynakların kurtarılması için her yıl milyarlarca dolar harcanarak %75'e kadar yüksek kaliteli hayvansal protein içeren bir kaynağın (böcekler) öldürülmesidir (Sosa ve Fogliano, 2017).

Yenilebilir böcek üretiminin artması için öncelikle ideal böcek türlerinin belirlenmesi gerekmektedir. İdeal bir böceğin sahip olması gereken özellikler arasında yüksek yumurta üretimi ve yumurtadan çıkma oranı, kısa larva dönemi, yüksek ağırlıklı larva ve pupa, yüksek verim, uygun yem maliyeti, düşük hassasiyet ve yüksek

kaliteli protein içeriği bulunmaktadır. Örneğin, siyah asker sineği (*Hermetica illucens*), yukarıda sıralanan kriterleri sağlamaktadır ancak yetiştirme tekniğinin optimize edilmesi gerekmektedir (Dobermann vd., 2017).

Günümüz böcek yetiştiriciliği uygulamalarında 3 farklı çiftlik türü bulunmaktadır: (1) tedarikçiden yumurtalar veya küçük larvalar alıp onları hasat edilebilir aşamaya kadar yetiştiren çiftlikler; (2) yumurtadan kurutulmuş böceklere kadar bütün üretim sürecini kapsayan çiftlikler; ve (3) hem üretimi hem de işlemeyi (larvalardan protein, yağ veya kitin eldesi) kapsayan çiftlikler (Niyonsaba, Höhler, Kooistra, Van Der Fels-Klerx ve Meuwissen, 2021). Yenilebilir böcek üretiminde genellikle hasat ve ön işlemler (böceklerin substrat kalıntılarından ayrılması, böceğin inaktivasyonu/öldürülmesi, kanatların/bacakların ayrılması ve yıkama), dekontaminasyon (haşlama, pişirme/kaynatma, buharda pişirme, marinasyon, kurutma, dumanlama, kızartma ve bunların kombinasyonları), ambalajlama (vakum, modifiye atmosfer) ve depolama aşamaları kullanılmaktadır. Üretilen böcekler bütün (kurutulmuş, dondurulmuş, ön pişirilmiş), işlenmiş (toz veya macun) ve ekstrakt (protein, yağ, kitin) şeklinde pazarlanabilmektedir (Ojha, Bußler, Psarianos, Rossi ve Schlüter, 2021b).

Hayvancılık ve tarım üretim sistemleri belirli seviyelerde otomasyona sahiptir ve bu da el işçiliği maliyetlerini azaltmaktadır. Ancak besleme, temizleme ve işlemenin el işçiliği ile yapıldığı çoğu böcek çiftliğinde bu durum geçerli değildir. Bu çiftliklerde, yem maliyetleri düşük olsa bile çiftlikte yetiştirilen böcekler pahalı olmaktadır. Bu nedenle, böceklerin sığır eti ya da kanatlılar için alternatif protein kaynağı olabilmesi için otomasyon tekniklerinin geliştirilmesi ve son ürün fiyatının düşürülmesi gerekmektedir. Bunun yanında, yetiştirme tesislerindeki sıcaklık, ışık, nem, havalandırma, yetiştirme kapları, popülasyon yoğunluğu, yumurtlama alanları, yem ve su mevcudiyeti, yemin bileşimi ve kalitesi gibi koşulların optimum seviyede kontrol edilmesi gerekmektedir (Dobermann vd., 2017).

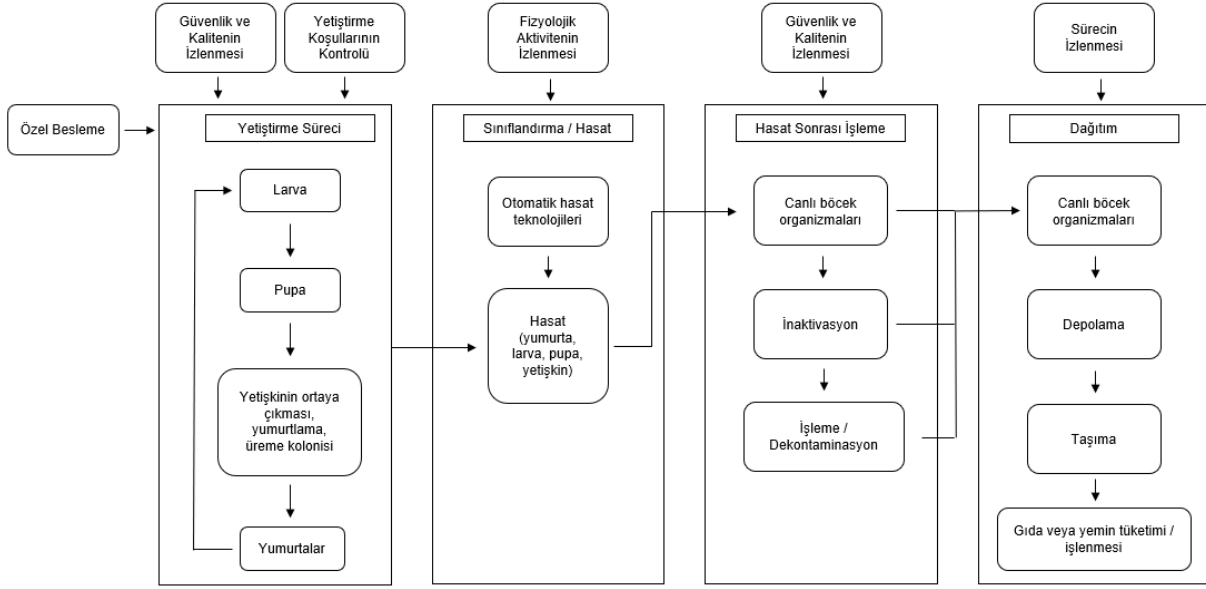
Tablo 2’de küçük ve büyük ölçekli yenilebilir böcek üretimi yapan işletmelerin durumlarına değinilmektedir. Küçük ölçekli üretim yapan işletmeler daha çok güneydoğu Asya ve Afrika’da gelişmekte olan ülkelerde bulunurken büyük (endüstriyel) ölçekli üretim yapan işletmeler daha çok Avrupa ve Asya’da gelişmiş ülkelerde bulunmaktadır (Berggren, Jansson ve Low, 2018). Avrupa’da en çok yetiştirilen böcek türleri arasında un kurdu larvası (*Tenebrio molitor*) ve ev cırcırı (*Acheta domesticus*) bulunmaktadır (Francis vd., 2019). Un kurdunun dünyada en fazla yetiştirilen böcek türlerinden biri olduğu kabul edilmektedir (Gkinali, Matsakidou, Vasileiou ve Paraskevopoulou, 2022).

Tablo 2.

Yenilebilir böcek üretimi yapan küçük ve büyük ölçekli işletmelerdeki durum (Berggren vd., 2018)

Konu	Küçük Ölçekli İşletmeler	Büyük Ölçekli İşletmeler
Üretim hedefi	İnsan tüketimi	Tıbbi amaçlar, evcil hayvan gıdaları
Besleme, temizleme ve işleme	El işçiliği	Otomatik
Sağlık açısından kontrol	Görsel değerlendirme	Patojenler için geniş izleme programları
Üretim stoku	Damızlık ve yetiştirme hayvanları karışabilir, Yeniden stoklama için yabancı ortamdan yararlanabilme	Damızlık ve yetiştirme hayvanları ayrılmalı, Yeniden stoklama için titiz kalite ve güvenlik değerlendirmesi
Potansiyel patojen etkisi	Sınırlı popülasyonu etkileme	Yüksek sayıda popülasyonu etkileme
Ortam şartları kontrolü	Sınırlı, dış ortamlarda kontrol zorlukları	Gelişmiş ortam kontrol sistemleri gerekli
Yem kaynakları	Daha esnek ve değişken kaynaklar	Aynı tip yemden büyük miktarda ihtiyaç
Genel özellikler	Düşük kapasite; esnek yönetim; düşük miktarda atık	Büyük depolama, üretim ve ambalajlama kapasitesi; büyük miktarda atık

Hayvancılık sistemlerinde olduğu gibi, tarımı yapılan böceklerin gıda ve yem olarak kullanılabilmesi için genellikle işlenmesi gerekmektedir. Çiftlik hayvanlarının işlenmesini içeren sayısız standart bulunmasına karşın yenilebilir böceklerin işlenmesi için uygun standartlar yaygın değildir. Verimli bir sistemin sağlanması için bir dizi standart ve üretim prosedürlerine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu konuda örnek bir üretim sistemi Şekil 3'te verilmiştir (Dobermann vd., 2017).



Şekil 3. Yenilebilir böceklerden gıda ve yem üretim süreci (Rumpold ve Schlüter, 2013)

Yenilebilir böceklerin işlenmesi konusunda ideal yemin seçimi önem taşımaktadır. Günümüzde mevcut olan böcek çiftliklerinin çoğunda kümes hayvanı yemleri kullanılmaktadır. Bu çiftliklerde biyoatik kaynaklarının, özellikle gıda atığının kullanımının araştırılması birçok çalışmada önerilmektedir. Küresel olarak her yıl üretilen gıdanın yaklaşık üçte birinin kısmının (~1 milyar ton) atık olduğu ve bunların büyük bir kısmının da sera gazı salan çöplüklere doldurulduğu göz önüne alındığında, gıda atıklarının yenilebilir böcek üretiminde kullanılması sürdürülebilir bir yaklaşım olarak düşünülmektedir. Gıda yan ürünleri bazlı yapılandırılmış diyetlerin siyah asker sineği, kara sinek, un kurdu ve cırcır böceği yetiştirilmesinde kullanılabileceği belirtilmektedir (UNEP, 2021; Varelas, 2019).

Geleneksel kültürlerde böcekler duyuşsal ve besinsel kaliteyi iyileştirmek ve raf ömrünü artırmak amacıyla güneşte kurutma, buharda pişirme, kavurma, dumanlama, kızartma ve kürlleme gibi çeşitli şekillerde işlenmektedir. Bu işlemlerden önce mikrobiyal yükü azaltmak ve enzimleri inhibe etmek amacıyla haşlama işlemi uygulanmaktadır (Matiza Ruzengwe vd., 2022). Batı kültürlerinde ise genellikle tüketici ilgisinin artırılması amacıyla böcekler bazı teknolojilerle toz veya un gibi tanınmayacak forma dönüştürülmekte ve bu şekilde kullanılmaktadır (Ayieko, Onyango, Ngadze ve Ayieko, 2021). Bu teknolojiler arasında kurutma (dondurarak kurutma, fırın kurutma, vakum kurutma, akışkan yatak kurutucu ve mikrodalga kurutma) ve esas olarak protein, yağ ve/veya kitin ekstraksiyonu için tasarlanmış yeni metotlar (ultrases destekli ekstraksiyon, süper kritik CO₂ ekstraksiyonu, soğuk atmosferik basınç plazma ve kuru fraksiyonlama) bulunmaktadır (Meshulam-Pascoviche, David-Birman, Refael ve Lesmes, 2022).

Böcek unlarında bulunan proteinlerin teknofonksiyonel özellikleri (çözünürlük, köpürme, su ve yağ tutma, emülsifikasyon, jel özellikleri vb.) ürün formülasyonlarında kullanımları açısından önem taşımaktadır (Liceaga, 2021; Mishyna, Keppler ve Chen, 2021). Bu özellikler genellikle böcek türüne, gelişim evresine ve kullanılan işleme yöntemine bağlı olarak değişmektedir (Sosa ve Fogliano, 2017).

Dünyanın pek çok yerinde "tüetime hazır böcekler" güneşte kurutulduktan veya kızartıldıktan sonra yetersiz hijyen koşullarında yerel pazarlarda satılmaktadır. Bu böceklere daha önceden bir ısıl işlem uygulanmadığı takdirde böcekler mikrobiyal yük içerebilmektedir ve yeniden kontaminasyon ve/veya çapraz kontaminasyon riski bulunmaktadır. Bu nedenle, bakteriyel yükün en aza indirilmesi için böceklerin uygun bir şekilde işlenmesi, ambalajlanması ve depolanması gerekmektedir. Genellikle, yenilebilir böceklerin depolama

koşulları ve raf ömrü böcek türüne ve ürün tipine (bütün, toz veya tüketime hazır böcekler) bağlı olmaktadır. Taze böceklerde kalitenin korunması için soğukta muhafaza (5-7°C) yerine dondurarak depolama (-20°C) önerilmektedir (Melgar-Lalanne vd. 2019). Kurutulmuş ve toz haline getirilmiş böceklerde ise oksidatif ve mikrobiyal bozulmanın önlenmesi için soğukta muhafaza iyi bir yöntemdir (Baiano, 2020). Modifiye atmosfer veya vakum ambalajlama soğukta muhafaza ile kombine edildiğinde ürünlerin raf ömrü önemli derecede artmaktadır (Melgar-Lalanne vd. 2019).

5. Yenilebilir Böcek Ekonomisi

Yenilebilir böceklerin toplanması veya yetiştirilerek hasat edilmesi hem küçük hem de daha büyük, endüstriyel boyuttaki uygulamalar için para ve istihdam kaynağı yaratabilir. Güney ve Orta Afrika ile Güneydoğu Asya'da gelişmekte olan ülkelerde yenilebilir böcekler hâlihazırda talep mevcuttur ve bu bölgelerde bir sokak lezzeti olarak ya da tavuk ve balık yemi olarak küçük çaplı işletmelerde satılması söz konusu olabilmektedir. Birkaç istisna dışında yenilebilir böceklerin uluslararası ticareti oldukça önemsiz düzeydedir. Gelişmiş ülkelere yapılan ticaret daha ziyade göçmen topluluklardan gelen talep veya egzotik gıdalar satan niş marketlerin gelişmesi nedeniyle. Yenilebilir böcekler üzerinden yapılan sınır ticareti ise özellikle Güneydoğu Asya ve Orta Afrika arasında önemlidir (Van Huis vd., 2013).

Dünyada en hızlı büyüyen alternatif protein pazarı olan yenilebilir böceklerin pazar büyüklüğünün 2030 yılı itibarıyla yaklaşık 8 milyar dolar olacağı öngörülmektedir (Van Huis, Rumpold, Van Der Fels-Klerx ve Tomberlin, 2021a). Avrupa (özellikle İngiltere, Almanya ve Belçika) ve Amerika faaliyet gösteren 400'den fazla yenilebilir böcek işletmesi ile Batı dünyasında önde gelen pazarlardır (Pippinato, Gasco, Di Vita ve Mancuso, 2020). Güneydoğu Asya (özellikle Tayland) ve Afrika'da (özellikle Kenya, Tanzanya ve Uganda) yenilebilir böceklerin ihracatı ve ithalatı ekonomik açıdan önem taşımaktadır (Tanga vd., 2021). Dünya çapında 1 milyondan fazla böcek türü bulunmasına rağmen, insan tüketimi için özellikle çekirgeler ve un kurtları başarılı bir şekilde ticarileştirilmiştir (FAO, 2021; Ponce-Reyes ve Lessard, 2021).

AgriProtein (Güney Afrika), Ynsect (Fransa), Protifarm (Hollanda) ve Flying Spark (İsrail) gibi insan ve hayvan tüketimi amaçlı siyah asker sineği, un kurdu, cırcır böceği, çekirge, sinek ve diğer böcek türlerini üreten girişimlerin sayısı her geçen yıl artmaktadır (Mishyna, Chen ve Benjamin, 2020; Wade ve Hoelle, 2020). Ülkemizde de Antalya Çekirge (<https://www.antalyacekirge.net/>) adıyla hayvan yemi amaçlı farklı türlerde çekirgeler, kurtlar ve hamam böcekleri üreten bir işletme bulunmaktadır.

Yenilebilir böcekler geleneksel olarak kurutulmuş ve/veya öğütülmüş olarak satılırken, bazen de unlar, kurutulmuş larvalar, pupalar ve bütün şekilde satılmaktadır. Günümüzde yenilebilir böcekler çeşitli gıdalar (protein barları, ekmekler, krakerler, cipsler, unlar, et alternatifleri, makarnalar vb.), içecekler (alkolsüz içecekler, biralara, sütler vb.) ve şekerler (çikolatalar, dondurmalar, kurabiyeler vb.) gibi farklı şekillerde pazarlanmaktadır (Ponce-Reyes ve Lessard, 2021). Son 10 yılda başlıca Avrupa, Güney Asya ve Kuzey Amerika olmak üzere dünya genelinde yüzlerce şirket yenilebilir böcek esaslı gıda ürünleri ticareti amacıyla kurulmuştur. İşletmeler genellikle ticari formda aromalı atıştırılabilirler, enerji barları ve tozlar (sporcu takviyesi) satmaktadır ve en fazla satılan böcek türleri cırcır böcekleri, çekirgeler ve un kurtlarıdır (Melgar-Lalanne vd., 2019; Placentino, Sogari, Viscecchia, De Devitiis ve Monacis, 2021).

6. Tüketici Kabulü

Entomofaji, elbette kültürel ve dini pratiklerden etkilenen bir olgudur. Böcekler başlıca Asya, Afrika ve Güney Amerika ülkeleri olmak üzere yaklaşık 130 ülkede hâlihazırda geleneksel gıda olarak tüketilmektedir. Bu ülkeler arasında tüketim ve çeşitlilik açısından Meksika, Çin, Tayland ve Hindistan öne çıkmaktadır (Ordoñez-Araque ve Egas-Montenegro, 2021; Liceaga, 2021). Diğer yandan pek çok batı Avrupa ülkesinde böcek tüketimi tikslenme ve ilkel davranış tipi ilişkilendirilmekte ve kabul görmemektedir (Van Huis vd., 2013). Yine de entomofaji kavramı son yıllarda küresel olarak ilgi çekmeye başlayan bir konudur.

Yenilebilir böcek tüketiminin coğrafi olarak farklı bölgelerde yoğunlaşmasının en önemli nedenlerinden birisi de çevresel koşullarının bu böcek türlerinin üretimine elverişli olup olmamasıdır. Bu konuda tropik koşullar en fazla biyoçeşitliliği sunduğu için bu bölgelerde böcek tüketimi daha yaygındır. Tropik koşullardan uzaklaştıkça böcek tüketimi azalmaktadır (Lesnik, 2017). Günümüzde, entomofaji 2000'den fazla böcek türünü ilgilendirmektedir ve bu sayı giderek artmaktadır (Berggren, Jansson ve Low, 2019; Jongema, 2017). Pek çok kaynakta yenilebilir böcekleri tüketen insan sayısı yaklaşık 2 milyar olarak tahmin edilmiştir. Bazı kaynaklarda ise bu tahminin biraz yüksek olduğu, böcek tüketen insan sayısının yüz milyonlar seviyesinde olduğu belirtilmektedir (Van Huis, Halloran, Van Itterbeeck, Klunder ve Vantomme, 2022).

Yenilebilir böcek tüketiminin coğrafi dağılımı düşünüldüğünde, tüketimin başlıca kültürel özelliklerden etkilendiği ileri sürülebilir (Grabowski vd., 2022). Özellikle gelişmekte olan ülkelerde yenilebilir böceklerin “yoksul gıdası” olarak sosyal bir statüye bağlanması tüketim üzerinde olumsuz bir algıya neden olmaktadır (Murefu, Macheka, Musundire ve Manditsera, 2019). Böcekleri gıda olarak değerlendirmenin bireyler üzerinde başlıca iki farklı tepkisi vardır. Böceklerin geleneksel olarak tüketildiği ülkelerde böcekler değerli bir protein kaynağı olarak kabul edilmekte iken, Batı kültürlerinde böcekler kirli, iğrenç ve tehlikeli olarak kabul edilmektedir (Jensen ve Lieberoth, 2019). Bunun yanında, tüketicilerin sağlık ve çevresel yararları hakkında bilgilendirildikleri takdirde entomofaji hakkındaki fikirlerini değiştirmeye istekli oldukları da belirtilmiştir (Mancini vd., 2019).

Yenilebilir böceklerin kabul edilebilirliği üzerine tüketim formu ve duyuşal özellikleri etkili olmaktadır. Böceklerin duyuşal özellikleri; yaşadığı ortam, beslenme şekli ve pişirme metodundan etkilenmektedir. Yenilebilir böcekler çeşitli yaşam dönemlerinde ve çiğ, kızartılmış, kaynatılmış, kavrulmuş veya öğütülmüş formlarda tüketime sunulabilmektedir (Baiano, 2020). Kabul edilebilirliği artırmak amacıyla yenilebilir böcekler işlenerek tanınmayacak formda ve çeşitli ürünlerin içerisinde (ekmek, bisküvi, çikolata vb.) bir katkı bileşeni olarak da tüketilebilmektedir (Dagevos, 2021; Mancini vd., 2022; Meyer-Rochow ve Hakko, 2018; Orsi, Voege ve Stranieri, 2019).

Yenilebilir böceklerin lezzet karakteristikleri değerlendirildiğinde gündelik olarak tüketilen birçok gıdaya benzer tatlara sahip oldukları görülmektedir. Örneğin karıncalar ve termitlerin fındığa benzer tat, hamamböceklerinin mantara benzer tat ve siyah böcek larvalarının da kepekli ekmeğe benzer tat özelliklerine sahip olduğu bildirilmektedir. Tablo 3’te başlıca böcek gruplarının tat ve aroma özellikleri verilmektedir (Muslu, 2020).

Tablo 3.

Farklı Yöntemler ile İşlenmiş Yenilebilir Böceklerin Aroma Tanımları (Mishyna vd., 2020; Kouřimská ve Adámková, 2016)

Yenilebilir Böcek	Gelişim Evresi	Aroma
Agave kurtları	Larva	Börülçemsi, kızarmış domuz jambonu, baharat
Karıncalar	Yetişkin	Tatlı, fındığımsı, karbonize limon
Kara cadı güvesi	Larva	Ringa balığı
Cırcır böcekleri ve çekirgeler	Yetişkin	Yavan, balığımsı
Helikopter böceği	Larva	Balık
Bal arısı	Yavru	Tereyağımsı, sütümsü, bitkisel, fındığımsı, etsi, karaciğer, mantar, ceviz
Un kurdu	Larva	Fındığımsı
Süne	Yetişkin	Elma, acı kırmızı biber
Termitler	Yetişkin	Fındığımsı
Ağaç kurtları	-	Kızarmış domuz derisi
Ağustos böceği	-	Avokado, kızarmış kabak
Eşek arısı	-	Çamfıstığı
Hamam böcekleri	-	Mantar
Sandal böceği	Yetişkin	Balık, karides
Su böceği	Yetişkin	Özgün
Pamuklu bitler	-	Patates kızartması
Sarı un kurdu böceği	Larva	Tam buğday ekmeği

7. Gıda Güvenliği ve Yasal Düzenlemeler

Böceklerin insan diyetlerine dâhil edilmesi güvenlik endişelerini de beraberinde getirmektedir. Gıda güvenliği açısından böcek ve ürünlerinin de diğer gıda ürünleri ile aynı sağlık ve sanitasyon düzenlemelerine tabi olması gerekmektedir. Yenilebilir böcekler söz konusu olduğunda, mikrobiyolojik güvenlik, toksisite, lezzet ve inorganik maddelerin varlığı gibi konular göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, özellikle gübre

veya mezbaha atıkları gibi kaynaklar ile yetiştirilen böceklerde belirli sağlık etkileri de dikkate alınmalıdır (Van Huis vd., 2013).

Yenilebilir böcekler yetiştirme ortamına ve kullanılan yemlere bağlı olarak mikotoksinlere, pestisitlere ve ağır metallere (kadmiyum, civa, kurşun ve arsenik) maruz kalabilmektedir (Schrögel ve Wätjen, 2019). Bu kontaminantların insan gıdası ve hayvan yemi olarak kullanılan böceklere potansiyel transferi ve birikimi, gelişmekte olan bu sektörde dikkate alınması gereken önemli konular arasındadır (Dobermann vd., 2017; Imathiu, 2020).

Mikrobiyal açıdan bakıldığında, yenilebilir böcekler patojen mikroorganizmaların ve bazı cinslerin sporlarının (özellikle *Bacillus*) mekanik veya biyolojik vektörleri olabilmektedir (Osmani ve Aquilanti, 2021). Bunun yanında, yenilebilir böcekler ve ürünleri ile ilişkili mikrobiyal riskler yetiştirme, hasat, işleme, depolama ve taşıma sırasında uygulanacak iyi hijyen uygulamaları ile büyük ölçüde kontrol altına alınabilmektedir. Hem çiftliklerde yetiştirilen hem de yabani ortamdan hasat edilen böcekler birkaç bakteri türü ile ilişkilendirilmektedir. Bunlar arasında *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Lactobacillus*, *Erwinia*, *Clostridium* ve *Acinetobacter* cinslerinden bazı türlerin yanı sıra *Enterobacteriaceae* familyasının bazı üyeleri yer almaktadır. Bu bakterilerden bazıları patojenik ve fırsatçı bakteri olmasının yanı sıra yenilebilir böceklerin raf ömrünün azalmasından da sorumlu olabilmektedir. Çiftlik hayvanlarıyla yakın temas halinde olan veya karton yumurta kutularında yetiştirilen böceklerde *Campylobacter* ve *Salmonella* cinslerine ait türlerin kontaminasyon riski bulunmaktadır. Gıda kaynaklı virüslerin yenilebilir böcek tüketimi ile oluşturabileceği riskler kısıtlıdır ancak yemler yoluyla virüs kontaminasyonu riskine dikkat edilmelidir. Gıda kaynaklı mantarlar hem gıda bozulması yoluyla kalite ve gıda kaybına neden olmakta hem de bazı patojenik türler mikotoksin oluşturabilmektedir. Yenilebilir böceklerle ilişkilendirilmiş mayalar arasında *Tetrapisispora*, *Candida*, *Pichia* ve *Debaromyces* cinslerine ait bazı türler yer alırken, küfler arasında ise *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Phycomycetes* ve *Wallemia* cinslerine ait bazı türler bulunmaktadır (FAO, 2021).

Böcek tüketimine bağlı alerji vakaları oldukça nadir olmakla birlikte yok değildir. Özellikle eklembacaklılarla ilgili alerji vakaları rapor edilmiştir (Van Huis vd., 2013). Kabuklular (karides vb.) ve böcekleri de içeren pek çok eklembacaklının duyarlı bireylerde tropomiyozin, α -amilaz, arjinin kinaz ve hemosiyanin varlığından kaynaklanan alerjik reaksiyonlara neden olduğu bilinmektedir. Kabuklu alerjisi olan bireylerin bağışıklık sistemi, kabuklulardan gelen bazı proteinlere karşı duyarlıdır. Böcek tüketimi ile benzer proteinlerin tanınması sonucunda alerjik reaksiyonlar tetiklenebilmektedir (FAO, 2021). Dahası, bu alerjenler arasında çapraz reaksiyonlar da mümkündür (De Gier ve Verhoeckx, 2018). Eklembacaklı alerjisine sahip olan bireylerin böceklere karşı da alerjik reaksiyonlar / hassasiyet gösterdiği birden fazla çalışmada belirtilmiştir (Ribeiro, Cunha, Sousa-Pinto ve Fonseca, 2018).

Gelişmiş ülkelerde böceklerin gıda ve yem olarak kullanılmasına rehberlik edecek net bir yasal düzenlemenin bulunmaması, bu ürünlerin endüstriyel olarak geliştirilmesinin önündeki en büyük engeldir. Gelişmekte olan ülkelerde ise böceklerin gıda veya yem olarak kullanılması yasal düzenlemeden bağımsız olarak daha fazla tolere edilmektedir. Yem sektörü, böceklere ilişkin yasal düzenleme normlarının oluşmasını en fazla teşvik eden sektördür. “Novel food”/ “Yeni ürün” konseptinin böceklerin insan gıdası olarak kullanılmasının önünü açabileceği düşünülmektedir (Van Huis vd., 2013).

Avrupa Birliği’nde insan tüketimi için üretilmiş böcek esaslı ürünler (bütün, parça veya ekstrakt), Ocak 2018’den beri “EU 2015/2283” yeni gıda yönetmeliği kapsamına alınmıştır. Bunun anlamı, bu ürünlerin pazarda yerini almasından önce Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (European Food Safety Authority, EFSA) tarafından yapılacak bilimsel değerlendirme ile Avrupa Komisyonu’na (EC) başvurmanın gerekli olduğudur (FAO, 2021). Günümüzde, EFSA tarafından insan tüketimi için güvenli olarak onaylanmış iki yenilebilir böcek türü bulunmaktadır: Kurutulmuş un kurdu (*Tenebrio molitor*) (EFSA, 2021a) ve göçmen çekirge (*Locust migratoria*) (EFSA, 2021b). Avrupa Birliği, üçüncül ülkelere gelen ve uzun sürelerce (25 yıl boyunca kesintisiz) güvenli olarak tüketilen yenilebilir böcek ürünlerini “yeni gıda” olarak nitelendirebilmektedir. Bu tip ürünler, gerekli koşulları sağladığı takdirde 4 ay gibi kısa bir sürede Avrupa Birliği pazarlarında yerlerini alabilmektedir (FAO, 2021).

Amerika Birleşik Devletleri’nde, yenilebilir böceklerin (bütün, parça veya türev) gıda olarak kullanımları Gıda ve İlaç Dairesi’nin (FDA) denetimi altındadır. Bu bakımdan, yenilebilir böcek ürünlerinin “Federal Gıda, İlaç ve Kozmetik (FD&C)” yasasına ve yükümlülüklerine uyması gerekmektedir. Kanada’da ise ipek böcekleri,

cırcır böcekleri ve un kurtları Health Canada tarafından belirlenen “Gıda ve Gıda Bileşenleri için Yeni Olmayan Belirleyiciler Listesi” içerisinde bulunmaktadır. Kanadalı tüketiciler için üretilen yenilebilir böcekler, ülkedeki diğer gıdalarla aynı hijyen ve güvenlik standartlarını karşılamak durumundadır (FAO, 2021). Afrika ve Asya gibi kıtalarda ve Meksika’da yenilebilir böcekler geleneksel olarak insanlar tarafından rahatça tüketilmektedir ancak konuyla ilgili düzenlemeler ve yönetmelikler oldukça nadirdir veya hiç bulunmamaktadır (Raheem vd., 2019).

8. Sonuçlar

Mevcut durumda küresel olarak hayvansal protein ihtiyacı büyük oranda sığır, domuz ve kanatlılar gibi geleneksel olarak yetiştirilen hayvanlardan sağlanmaktadır. Ancak, nüfus, refah ve talep artışı nedeniyle gelecekte hayvansal ürünlere olan talebin ikiye katlanması beklenmektedir. Geleneksel hayvansal proteinin üretimi hem oldukça verimsiz bir yem/protein çevrim oranına, hem de oldukça yüksek bir çevre maliyetine neden olmaktadır. Hayvancılık sektörü tek başına, küresel sera gazı salınımının %14’ünden, önemli miktarda toprak ve su kullanımından sorumludur. Hayvansal gıdalar, gıda kaynaklı proteinin yalnızca %37’sini sağlamalarına rağmen, orantısız olarak tarımsal alan işgalinin %83’ünden ve gıda ile ilişkili sera gazı emisyonlarının %58’inden sorumludur (Poore ve Nemecek, 2018; Tamburino, Bravo, Clough ve Nicholas, 2020). Dolayısıyla giderek artan protein ihtiyacına yönelik daha sürdürülebilir çözümler bulmak gerektiği tartışmasız biçimde açıktır. Yenilebilir böcekler dikey tarıma elverişli olması, düşük su gereksinimi, yüksek yem/protein çevrim verimi ve düşük sera gazı salınımı gibi avantajları ile bu konuda sürdürülebilir bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu alternatifin pratikte daha geniş bir popülasyon tarafından yaygın olarak tüketilebilmesi için yenilebilir böcek üretiminin belli bir yasal düzenleme çerçevesinde ele alınması ve gıda güvenliğine ilişkin endişelerinin giderilmesi birincil ihtiyaç olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, özellikle bazı coğrafyalarda böceklerin gıda olarak tüketilmesine ilişkin kültürel ve etik kısıtlamaların dikkate alınması gerektiği de vurgulanmalıdır.

Yazar Katkıları

Ali Emre Andaç: Literatür taraması yapılması, derlemenin kaleme alınması ve düzenlenmesinde katkı sağlamıştır.

Neşe Yılmaz Tuncel: Konunun ve konseptin dizaynı, derlemenin kaleme alınması ve gözden geçirilmesinde katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması bulunmadığını beyan eder.

Kaynaklar

- Ayensu, J., Annan, R. A., Edusei, A., Lutterodt, H. (2019). Beyond nutrients, health effects of entomophagy: a systematic review. *Nutrition and Food Science*, 49(1), 2-17, <https://doi.org/10.1108/NFS-02-2018-0046>.
- Ayieko, I. A., Onyango, M., Ngadze, R. T., Ayieko, M. A. (2021). Edible Insects as New Food Frontier in the Hospitality Industry. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 325, <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.693990>.
- Baiano, A. (2020). Edible insects: an overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science and Technology*, 100, 35-50, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040>.
- Berggren, Å., Jansson, A., Low, M. (2019). Approaching ecological sustainability in the emerging insects-as-food industry. *Trends in Ecology and Evolution*, 34(2), 132-138, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.11.005>.
- Berggren, Å., Jansson, A., Low, M. (2018). Using current systems to inform rearing facility design in the insect-as-food industry. *Journal of Insects as Food and Feed*, 4(3), 167-170, <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0076>.
- Biology Dictionary, (2022). Böceklerin Yaşam Evreleri, Erişim Tarihi: 26.03.2022, Erişim: <https://biologydictionary.net/complete-metamorphosis/>.

- Borrelli, L., Varriale, L., Dipineto, L., Pace, A., Menna, L. F., Fioretti, A. (2021). Insect derived lauric acid as promising alternative strategy to antibiotics in the antimicrobial resistance scenario. *Frontiers in Microbiology*, 12, 330, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.620798>.
- Boulos, S., Tännler, A., Nyström, L. (2020). Nitrogen-to-Protein Conversion Factors for Edible Insects on the Swiss Market: *T. molitor*, *A. domesticus*, and *L. migratoria*. *Frontiers in nutrition*, 7, 89, <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00089>.
- Clune, S., Crossin, E., Verghese, K. (2017). Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production*, 140, 766–783. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.082>.
- Dagevos, H. (2021). A literature review of consumer research on edible insects: recent evidence and new vistas from 2019 studies. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(3), 249-259, <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0052>.
- Da Silva Lucas, A. J., De Oliveira, L. M., Da Rocha, M., Prentice, C. (2020). Edible insects: an alternative of nutritional, functional and bioactive compounds. *Food Chemistry*, 311, 126022, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126022>.
- De Carvalho, N. M., Madureira, A. R., Pintado, M. E. (2020). The potential of insects as food sources—a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(21), 3642-3652, <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1703170>.
- Del Mastro, N. L. (2021). Evolution of the Interest on Edible Insects. *American Journal of Biological and Environmental Statistics*, 7(2), 52-56, <https://doi.org/10.11648/j.ajbes.20210702.13>.
- Delvendahl, N., Rumpold, B. A., Langen, N. (2022). Edible Insects as Food—Insect Welfare and Ethical Aspects from a Consumer Perspective. *Insects*, 13(2), 121, <https://doi.org/10.3390/insects13020121>.
- De Gier, S., Verhoeckx, K. (2018). Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology*, 100, 82-106, <https://doi.org/10.1016/j.molimm.2018.03.015>.
- Dicke, M., Ellenberg, J., Salles, J.F., Jensen, A.B., Lecocq, A., Pijlman, G.P., van Loon, J.J.A., van Oers, M.M. (2020). Edible insects unlikely to contribute to transmission of coronavirus SARS-CoV-2. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(4), 333–339, <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0039>.
- Do, Q., Ramudhin, A., Colicchia, C., Creazza, A., Li, D. (2021). A systematic review of research on food loss and waste prevention and management for the circular economy. *International Journal of Production Economics*, 239, 108209, <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108209>.
- Doi, H., Gałęcki, R., Mulia, R. N. (2021). The merits of entomophagy in the post COVID-19 world. *Trends in Food Science & Technology*, 110, 849-854., <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.067>.
- Dobermann, D., Swift, J. A., Field, L. M. (2017). Opportunities and hurdles of edible insects for food and feed. *Nutrition Bulletin*, 42(4), 293-308, <https://doi.org/10.1111/nbu.12291>.
- Dreyer, M., Hörtenhuber, S., Zollitsch, W., Jäger, H., Schaden, L. M., Gronauer, A., Kral, I. (2021). Environmental life cycle assessment of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) production for human consumption in Austria—a comparison of mealworm and broiler as protein source. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(11), 2232-2247, <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01980-4>.
- Dürr, J., Ratompoarison, C. (2021). Nature’s “Free Lunch”: The Contribution of Edible Insects to Food and Nutrition Security in the Central Highlands of Madagascar. *Foods*, 10(12): 2978 p., <https://doi.org/10.3390/foods10122978>.
- EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA)., Turck, D., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Kearney, J., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Naska, A., Pelaez, C., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsabouri, S., Vinceti, M., Cubadda, F., Frenzel, T., Heinonen, M., Marchelli, R., Neuhauser-Berthold, M., Poulsen, M., Maradona, M. P., Schlatter, J. R., van Loveren, H., Ververis, E. Knutsen, H. K. (2021). Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(1), Article e06343, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6343>.
- EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA)., Turck, D., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Kearney, J., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Naska, A., Pelaez, C., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsabouri, S., Vinceti, M., Cubadda, F., Frenzel, T., Heinonen, M., Marchelli, R., Neuhauser-Berthold, M., Poulsen, M., Maradona, M. P., Schlatter, J. R., van Loveren, H., Azzollini, D., Knutsen, H. K. (2021b). Safety of frozen and dried formulations from migratory locust (*Locusta migratoria*) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA Journal*, 19(7), Article e06667, <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6667>.

- Elhassan, M., Wendin, K., Olsson, V., Langton, M. (2019). Quality aspects of insects as food—nutritional, sensory, and related concepts. *Foods*, 8(3), 95, <https://doi.org/10.3390/foods8030095>.
- Evans, J., Alemu, M. H., Flore, R., Frøst, M. B., Halloran, A., Jensen, A. B., Maciel-Vergara, G., Meyer-Rochow, V. B., Münke-Svendsen, C., Olsen, S. B., Payne, C., Roos, N., Rozin, P., Tan, H. S. G., Van Huis, A., Vantomme, P., Eilenberg, J. (2015). ‘Entomophagy’: an evolving terminology in need of review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 293-305, <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0074>.
- FAO, (2022), *How to feed the world in 2050.*, https://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf.
- FAO, (2021), *Looking at edible insects from a food safety perspective. challenges and opportunities for the sector.* Rome., <https://doi.org/10.4060/cb4094en>.
- FAO, (2020). Insects for food and feed. the contribution of insects to food security, livelihoods and the environment, Erişim Tarihi: 05.04.2022, Erişim: <https://www.fao.org/edible-insects/en/>.
- Francis, F., Doyen, V., Debaugnies, F., Mazzucchelli, G., Caparros, R., Alabi, T., Blecker, C., Haubruge, E., Corazza, F. (2019). Limited cross reactivity among arginine kinase allergens from mealworm and cricket edible insects. *Food Chemistry*, 276, 714-718, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.082>.
- Gabaza, M., Shumoy, H., Muchuweti, M., Vandamme, P., Raes, K. (2018). Baobab fruit pulp and mopane worm as potential functional ingredients to improve the iron and zinc content and bioaccessibility of fermented cereals. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 47, 390-398 p., <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.04.005>.
- Gahukar, R. T. (2020). Edible insects collected from forests for family livelihood and wellness of rural communities: A review. *Global Food Security*, 25, 100348, <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100348>.
- Galanakis, C. M. (ed.), (2019). Sustainable Meat Production and Processing. *Academic Press*, The UK, 259, <https://doi.org/10.1016/C2017-0-02230-9>.
- Gkinali, A. A., Matsakidou, A., Vasileiou, E., Paraskevopoulou, A. (2022). Potentiality of *Tenebrio molitor* larva-based ingredients for the food industry: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 119, 495-507, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.024>.
- Grabowski N. T., Abdulmawjood A., Acheuk F., Barragán Fonseca K., Chhay T., Costa Neto Eraldo M., Ferri M., Franco Olivias J., González Aguilar Delia G., Keo S., Lertpatarakomol R., Miech P., Piofczyk T., Proscia F., Mitchaothai J., Guerfali Meriem M., Sayed Waheed, Tchibozo S., Plötz M. (2022) Insects—a source of safe and sustainable food?—yes and no. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 701797, <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.701797>.
- Gravel, A., Doyen, A. (2020). The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 59, 102272, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102272>.
- Guiné, R. P., Correia, P., Coelho, C., Costa, C. A. (2021). The role of edible insects to mitigate challenges for sustainability. *Open Agriculture*, 6(1), 24-36, <https://doi.org/10.1515/opag-2020-0206>.
- Halloran, A., Roos, N., Eilenberg, J., Cerutti, A., Bruun, S. (2016). Life cycle assessment of edible insects for food protein: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4), 1-13, <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0392-8>.
- Imathiu, S. (2020). Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS Journal*, 18, 1-11, <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2019.11.002>.
- Janssen, R. H., Vincken, J. P., van den Broek, L. A., Fogliano, V., Lakemond, C. M. (2017). Nitrogen-to-protein conversion factors for three edible insects: *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, and *Hermetia illucens*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(11), 2275-2278, <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00471>.
- Jensen, N. H., Lieberoth, A. (2019). We will eat disgusting foods together—Evidence of the normative basis of Western entomophagy-disgust from an insect tasting. *Food Quality and Preference*, 72, 109-115, <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.08.012>.
- Jongema, Y. (2017), Dünyadaki yenilebilir böceklerin listesi, Erişim Tarihi: 25.03.2022, Erişim: <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Chair-groups/Plant-Sciences/Laboratory-of-Entomology/Edible-insects/Worldwide-species-list.htm>.

- Kawabata, M., Berardo, A., Mattei, P., de Pee, S. (2020). Food security and nutrition challenges in Tajikistan: Opportunities for a systems approach. *Food Policy*, 96, 101872, <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101872>.
- Kemsawasd, V., Inthachat, W., Suttisansanee, U., Temviriyankul, P. (2022). Road to The Red Carpet of Edible Crickets through Integration into the Human Food Chain with Biofunctions and Sustainability: A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(3), 1801, <https://doi.org/10.3390/ijms23031801>.
- Kim, T. K., Yong, H. I., Kim, Y. B., Kim, H. W., Choi, Y. S. (2019). Edible insects as a protein source: A review of public perception, processing technology, and research trends. *Food Science of Animal Resources*, 39(4), 521, <https://doi.org/10.5851/kosfa.2019.e53>.
- Kouřimská, L., Adámková, A. (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*, 4, 22-26, <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.07.001>.
- La Barbera, F., Verneau, F., Videbæk, P. N., Amato, M., Grunert, K. G. (2020). A self-report measure of attitudes toward the eating of insects: Construction and validation of the Entomophagy Attitude Questionnaire. *Food Quality and Preference*, 79, 103757, <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103757>.
- Lange, K. W., Nakamura, Y. (2021). Edible insects as future food: chances and challenges. *Journal of Future Foods*, 1(1), 38-46, <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.10.001>.
- Lee, J. H., Kim, T. K., Jeong, C. H., Yong, H. I., Cha, J. Y., Kim, B. K., Choi, Y. S. (2021). Biological activity and processing technologies of edible insects: a review. *Food Science and Biotechnology*, 30(8), 1003-1023, <https://doi.org/10.1007/s10068-021-00942-8>.
- Lesnik, J. J. (2017). Not just a fallback food: global patterns of insect consumption related to geography, not agriculture. *American Journal of Human Biology*, 29(4), e22976, <https://doi.org/10.1002/ajhb.22976>.
- Liceaga, A. M. (2021). Processing insects for use in the food and feed industry. *Current Opinion in Insect Science*, 48, 32-36, <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.08.002>.
- Mancini, S., Sogari, G., Espinosa Diaz, S., Menozzi, D., Paci, G., Moruzzo, R. (2022). Exploring the Future of Edible Insects in Europe. *Foods*, 11(3), 455, <https://doi.org/10.3390/foods11030455>.
- Mancini, S., Sogari, G., Menozzi, D., Nuvoloni, R., Torracca, B., Moruzzo, R., Paci, G. (2019). Factors predicting the intention of eating an insect-based product. *Foods*, 8(7), 270, <https://doi.org/10.3390/foods8070270>.
- Mariutti, L. R. B., Rebelo, K. S., Bisconsin-Junior, A., de Moraes, J. S., Magnani, M., Maldonado, I. R., Maderia, N. R., Tiengo, A., Marostica, M. R., Cazarin, C. B. B. (2021). The use of alternative food sources to improve health and guarantee access and food intake. *Food Research International*, 149, 110709, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110709>.
- Matiza Ruzengwe, F., Nyarugwe, S. P., Manditsera, F. A., Mubaiwa, J., Cottin, S., Matsungu, T. M., Chopera, P., Ranawana, V., Fiore, A., Macheke, L. (2022). Contribution of edible insects to improved food and nutrition security: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 1-13, <https://doi.org/10.1111/ijfs.15570>.
- Melgar-Lalanne, G., Hernández-Álvarez, A. J., Salinas-Castro, A. (2019). Edible insects processing: traditional and innovative technologies. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4), 1166-1191, <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12463>.
- Meshulam-Pascoviche, D., David-Birman, T., Refael, G., Lesmes, U. (2022). Big opportunities for tiny bugs: Processing effects on the techno-functionality and digestibility of edible insects. *Trends in Food Science and Technology*, 122, 265-274, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.012>.
- Meyer-Rochow, V. B., Gahukar, R. T., Ghosh, S., Jung, C. (2021). Chemical composition, nutrient quality and acceptability of edible insects are affected by species, developmental stage, gender, diet, and processing method. *Foods*, 10(5), 1036, <https://doi.org/10.3390/foods10051036>.
- Meyer-Rochow, V. B., Jung, C. (2020). Insects used as food and feed: isn't that what we all need. *Foods*, 9(8), 1003, <https://doi.org/10.3390/foods9081003>.
- Meyer-Rochow, V. B., Hakko, H. (2018). Can edible grasshoppers and silkworm pupae be tasted by humans when prevented to see and smell these insects. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(2), 616-619, <https://doi.org/10.1016/j.aspen.2018.04.002>.
- Mishyna, M., Keppler, J. K., Chen, J. (2021). Techno-functional properties of edible insect proteins and effects of processing. *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 56, 101508, <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2021.101508>.

- Mishyna, M., Chen, J., Benjamin, O. (2020). Sensory attributes of edible insects and insect-based foods—future outlooks for enhancing consumer appeal. *Trends in Food Science & Technology*, 95, 141-148, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.016>.
- Murefu, T. R., Macheke, L., Musundire, R., Manditsera, F. A. (2019). Safety of wild harvested and reared edible insects: A review. *Food Control*, 101, 209-224, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.03.003>.
- Muslu, M. (2020). Sağlıkın geliştirilmesi ve sürdürülebilir beslenme için alternatif bir kaynak: yenilebilir böcekler. *Gıda*, 45(5), 1009-1018, <https://doi.org/10.15237/gida.GD20071>.
- Mwangi, M. N., Oonincx, D. G., Stouten, T., Veenenbos, M., Melse-Boonstra, A., Dicke, M., Van Loon, J. J. (2018). Insects as sources of iron and zinc in human nutrition. *Nutrition Research Reviews*, 31(2), 248-255, <https://doi.org/10.1017/S0954422418000094>.
- Nikkhah, A., Van Haute, S., Jovanovic, V., Jung, H., Dewulf, J., Cirkovic Velickovic, T., Ghnimi, S. (2021). Life cycle assessment of edible insects (*Protaetia brevitarsis seulensis* larvae) as a future protein and fat source. *Scientific Reports*, 11(1), 1-11, <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93284-8>.
- Niyonsaba, H. H., Höhler, J., Kooistra, J., Van Der Fels-Klerx, H. J., Meuwissen, M. P. M. (2021). Profitability of insect farms. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 923-934, <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0087>.
- Nowakowski, A. C., Miller, A. C., Miller, M. E., Xiao, H., Wu, X. (2021). Potential health benefits of edible insects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(13), 3499-3508, <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1867053>.
- Ojha, S., Bekhit, A. E. D., Grune, T., Schlüter, O. K. (2021a). Bioavailability of nutrients from edible insects. *Current Opinion in Food Science*, 41, 240-248, <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.08.003>.
- Ojha, S., Bußler, S., Psarianos, M., Rossi, G., Schlüter, O. K. (2021b). Edible insect processing pathways and implementation of emerging technologies. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 877-900, <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0121>.
- Ordoñez-Araque, R., Egas-Montenegro, E. (2021). Edible insects: a food alternative for the sustainable development of the planet. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 23, 100304, <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100304>.
- Orsi, L., Voegelé, L. L., Stranieri, S. (2019). Eating edible insects as sustainable food? Exploring the determinants of consumer acceptance in Germany. *Food Research International*, 125, 108573, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108573>.
- Osimani, A., Aquilanti, L. (2021). Spore-forming bacteria in insect-based foods. *Current Opinion in Food Science*, 37, 112-117, <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.011>.
- Oonincx, D. G. A. B., Finke, M. D. (2021). Nutritional value of insects and ways to manipulate their composition. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 639-659, <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0050>.
- Patel, S., Suleria, H. A. R., Rauf, A. (2019). Edible insects as innovative foods: Nutritional and functional assessments. *Trends in Food Science and Technology*, 86, 352-359, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.033>.
- Peniche, P.C.Y.C. (2021). Drivers of insect consumption across human populations. *Evolutionary Anthropology*, <https://doi.org/10.1002/evan.21926>.
- Pippinato, L., Gasco, L., Di Vita, G., Mancuso, T. (2020). Current scenario in the European edible-insect industry: a preliminary study. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(4), 371-381, <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0008>.
- Placentino, U., Sogari, G., Viscecchia, R., De Devitiis, B., Monacis, L. (2021). The New Challenge of Sports Nutrition: Accepting Insect Food as Dietary Supplements in Professional Athletes. *Foods*, 10(5), 1117, <https://doi.org/10.3390/foods10051117>.
- Ponce-Reyes R., Lessard B. D. (2021). Edible Insects - A roadmap for the strategic growth of an emerging Australian industry. CSIRO, Canberra, <https://www.futurefoodsystems.com.au/an-industry-with-legs-csiro-releases-australias-first-edible-insects-roadmap/>.
- Poore, J., Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992, <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>.
- Raheem, D., Raposo, A., Oluwole, O. B., Nieuwland, M., Saraiva, A., Carrascosa, C. (2019). Entomophagy: nutritional, ecological, safety and legislation aspects. *Food Research International*, 126, 108672, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108672>.

- Ribeiro, J. C., Cunha, L. M., Sousa-Pinto, B., Fonseca, J. (2018). Allergic risks of consuming edible insects: a systematic review. *Molecular Nutrition and Food Research*, 62(1), 1700030, <https://doi.org/10.1002/mnfr.201700030>.
- Rumpold, B. A., Schlüter, O. (2015). Insect-based protein sources and their potential for human consumption: nutritional composition and processing. *Animal Frontiers*, 5(2), 20-24, <https://doi.org/10.2527/af.2015-0015>.
- Rumpold, B. A., Schlüter, O. K. (2013). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 17, 1-11, <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>.
- Saadoun, J. H., Sogari, G., Bernini, V., Camorali, C., Rossi, F., Neviani, E., Lazzi, C. (2022). A critical review of intrinsic and extrinsic antimicrobial properties of insects. *Trends in Food Science and Technology*, 122, 40-48, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.018>.
- Schrögel, P., Wätjen, W. (2019). Insects for food and feed-safety aspects related to mycotoxins and metals. *Foods*, 8(8), 288, <https://doi.org/10.3390/foods8080288>.
- Smetana, S., Spykman, R., Heinz, V. (2021). Environmental aspects of insect mass production. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 553-571, <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0116>.
- Sosa, D. A. T., Fogliano V. (2017). Potential of insect-derived ingredients for food applications. *Insect Physiology and Ecology*, 215-231, <http://dx.doi.org/10.5772/67318>.
- Tamburino, L., Bravo, G., Clough, Y., Nicholas, K. A. (2020). From population to production: 50 years of scientific literature on how to feed the world. *Global Food Security*, 24: 100346 p., <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100346>.
- Tanga, C. M., Egonyu, J. P., Beesigamukama, D., Niassy, S., Emily, K., Magara, H. J., Omuse, E. R., Subramanian S., Ekesi, S. (2021). Edible insect farming as an emerging and profitable enterprise in East Africa. *Current Opinion in Insect Science*, 48, 64-71, <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.09.007>.
- Tang, C., Yang, D., Liao, H., Sun, H., Liu, C., Wei, L., Li, F. (2019). Edible insects as a food source: a review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 1(1), 1-13, <https://doi.org/10.1186/s43014-019-0008-1>.
- Tao, J., Li, Y. O. (2018). Edible insects as a means to address global malnutrition and food insecurity issues. *Food Quality and Safety*, 2(1), 17-26, <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyy001>.
- UNEP (United Nations Environment Programme) (2021). Food waste index report 2021. Nairobi, ISBN: 978-92-807-3868-1., 100, <https://www.unep.org/resources/report/unep-food-waste-index-report-2021>.
- Van Huis, A., Halloran, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Vantomme, P. (2022). How many people on our planet eat insects: 2 billion. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(1), 1-4, <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.x010>.
- Van Huis, A., Rumpold, B. A., Van Der Fels-Klerx, H. J., Tomberlin, J. K. (2021a). Advancing edible insects as food and feed in a circular economy. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 935-948, <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.x005>.
- Van Huis, A. (2021b). Prospects of insects as food and feed. *Organic Agriculture*, 11(2), 301-308, <https://doi.org/10.1007/s13165-020-00290-7>.
- Van Huis, A., Oonincx, D. G. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(5), 1-14, <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>.
- Van Huis, A., Van Itterbeeck, J., Klunder, H., Mertens, E., Halloran, A., Muir, G., Vantomme, P. (2013). Edible insects: future prospects for food and feed security (No. 171). Food and agriculture organization of the United Nations., ISBN: 978-92-5-107596-8, <https://research.wur.nl/en/publications/edible-insects-future-prospects-for-food-and-feed-security>.
- Varelas, V. (2019). Food wastes as a potential new source for edible insect mass production for food and feed: a review. *Fermentation*, 5(3), 81, <https://doi.org/10.3390/fermentation5030081>.
- Wade, M., Hoelle, J. (2020). A review of edible insect industrialization: Scales of production and implications for sustainability. *Environmental Research Letters*, 15(12), 123013, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba1c1>.
- World Health Organization (WHO), United Nations Children's Fund (UNICEF), International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. (2021). Levels and trends in child malnutrition: key findings of the 2021 edition of the joint child malnutrition estimates. Geneva: World Health Organization. ISBN: 9789240025257, <https://www.who.int/publications/i/item/9789240025257>.