

16

Global Experiences on Waste Processing with Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*): From Technology to Business

Gabrielle Joly and Josiane Nikiema

Çeviri: Dr. Tamer Çalıkoğlu



İçindekiler

1. Giriş.....	4
2. Black Soldier Fly(BSF)	6
3. BSF ile Atık İşleme	6
3.1 Hammadde Seçimi	7
3.1.1 Kaynak	7
3.1.2 Atık Önleme	11
3.2 Üreme Koşulları.....	12
3.2.1 Çiftleşme ve Yumurtlama.....	14
3.2.2 Yumurta Toplama ve Kuluçka Çalıştırma Koşulları	16
3.2.3 Larva Yetiştiriciliği.....	16
3.2.4 Göçmen Prepupaların Toplanması	18
3.2.5 Pupasyon	18
3.2.6 Üreme Performansının İzlenmesi	19
3.3 Atık Arıtma	19
3.3.1 Çalışma Koşulları.....	20
3.3.2 Operasyonel Tasarımlar.....	22
3.3.3 Atık Arıtma Ünitesinin Performansının İzlenmesi	23
3.4 Ürün Toplama ve Arıtma.....	25
3.4.1 Ürün Verimi.....	25
3.4.2 Hasat Teknikleri	26
3.4.3 Hasat Sonrası BSF Larvaları	26
4. Ürünler: Özellikleri ve Uygulamaları	28
4.1 BSF Larvaları.....	28
4.1.1 BSF Larvalarının özellikleri.....	28
4.1.2 BSF Larvalarının Hayvan Yemi Olarak Kullanımı	30
4.1.3 Biyodizel Üretimi.....	32
4.1.4 Chitin Üretimi.....	33
4.2 Atık Kalıntısı	34
4.2.1 Özellikler	34
4.2.2 Gübre Olarak Kullanıldığı Çalışmalar,	34
4.2.3 Güvenlik	35
5. BSF Teknolojisinin Ekonomik, Çevresel, Yasal ve Sosyal Ölçüleri	35
5.1 Ekonomik Etki	35
5.1.1 Ekonomik Faydalar	38

5.1.2 Süreçle İlişkili Maliyetler	40
5.1.3 Genel Ekonomik Performans	44
5.2 Çevresel Etki	45
5.2.1 Çevresel Faydalar	45
5.2.2.BSF teknolojisiyle ilişkili ana olumsuz etkiler	47
5.2.3 Genel Çevre Performansı	48
5.3.Yasal Düzenlemeler	49
5.4 Sosyal Boyutlar	51
5.4.1 Halk Sağlığı	52
5.4.2 Sosyal Faydalar	52
5.4.3 Sosyal Kabul	53
6. BSF Teknolojilerinin Uygulanması: Vaka Çalışmaları	53
6.1 Genel Bakış	53
6.2 Vaka Çalışması 1: FOWARD	56
6.2.1 Bağlam	56
6.2.2 FORWARD BSF Tesisinin Teknoloji ve Proses Üretim özellikleri	57
6.2.3 Ekonomik Geçerlilik ve Etkiler	57
6.3 Örnek Olay İncelemesi 2: AgriProtein	58
6.3.1 Bağlam	58
6.3.2 Teknoloji ve Proses	59
6.4 Örnek Olay İncelemesi 3: Ento-Prise	60
6.4.1 Bağlam	60
6.4.2 Teknoloji ve Süreç	61
6.4.3 Ekonomik Geçerlilik ve Etkiler	61
6.5 Vaka Çalışması 4: Enterra Fee	62
6.5.1 Bağlam	62
6.5.3 Ekonomik Geçerlilik ve Etkiler	63
6.6 Vaka Analizlerinden Çıkarılan Dersler	64
7. Araştırma özellikleri ve Daha Fazla Araştırma İhtiyacı Olan Alanlar	65
7.1 BSF Teknolojisinde Yayımlanan Literatüre Genel Bakış	65
7.2 Araştırma ihtiyacı olan alanlar	68

1. Giriş

Siyah asker sineği (BSF) çok çeşitli çevresel koşullarla başa çıkabilir ve yetişkin sineği bir hastalık vektörü değildir. BSF larvaları, kentsel alanlarda büyük miktarlarda üretilen çeşitli organik atıklar dahil olmak üzere farklı organik malzemeler tüketebilir. Böylece atık hacmini azaltır, protein açısından zengin bir biyokütleye dönüştürür ve besin açısından zengin bir kalıntı bırakır. Hasat edilen larvalar daha sonra kümes hayvanları, balık ve domuzlar gibi monogastrik hayvanlar için yem rasyonlarında kullanılabilir. Yüksek yağ içeriği göz önüne alındığında, kaliteli biyodizel olarak da işlenebilirler. Atık artıkları değerli bir toprak düzenleyici madde olarak kullanılabilir. Bu nedenle, BSF tabanlı teknolojiler organik atık işleme için en umut verici yöntemlerden biri olarak görülmektedir.

Bu rapor, organik atık işleme için kullanıldığında BSF tabanlı teknolojinin farklı yönlerine kapsamlı bir genel bakış sunmaktadır. Farklı işlem bileşenlerini, yani (1) atık ön işleme, (2) BSF yetiştirme, (3) atık işleme, (4) ürün toplama ve (5) nihai ürün sonrası işlemleri açıklar. Bu önemli adımların her biri için önerilen çalışma koşullarını ve olası tasarımları irdeler. Aynı zamanda BSF tabanlı tedavi yönteminin ekonomik, çevresel, yasal ve sosyal yönlerini gözden geçirmekte ve BSF teknolojisinin dünyanın farklı yerlerinde ve farklı ölçeklerde uygulanmasına ilişkin dört örnek model sunmaktadır. Analiz, BSF teknolojisinin organik atıkların değerlendirilmesi için umut verici bir iş modeli olabileceğini ortaya koyuyor. Bununla birlikte, çoğu araştırmanın şimdiye kadar teknolojinin teknik yönlerine odaklandığını, bu da iş kurma ve geliştirmeyi desteklemek için ekonomik ve çevresel performansıyla ilgili verilerin sınırlı olmasıyla sonuçlandığını vurgulamaktadır.

Atık yönetimi yirmi birinci yüzyılın en zorlu sorunlarından birini oluşturmaktadır ve sürdürülebilir kalkınmada kilit rol oynamaktadır (Scheinberg ve ark. 2010; Wilson ve ark. 2015). Atık yönetimi, toplumların, ekonomilerin ve çevrenin birçok yönünü etkileyen ve onlarla kesişen bir konu olduğundan, bu konunun, ilgili unsurlarla ele alınması 2030 için belirlenen . sağlık, iklim değişikliği, gıda güvenliği, yoksulluğun azaltılması, sorumlu tüketim ve üretim gibi Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin (SKH'lerin) yarısından fazlasına ulaşılmasına katkıda bulunacaktır. Nüfus artışı, hızlı kentleşme ve tüketim modellerindeki değişikliklerle ilişkili ekonomik büyüme nedeniyle oluşan küresel atık miktarı hızla artmaktadır (Karak ve ark.2012; Wilson ve ark.2015). Bu büyümenin çoğu düşük ve orta gelirli ülkelerde gerçekleşir. Aynı zamanda doğal kaynaklar tüketir. Bu durum, atık değerlendirmesiyle elde edilebilen 'döngüyü kapatmaya' odaklanan dairesel bir ekonomiye doğru bir paradigma değişikliği gerektirmektedir (Lohri ve ark. 2017). Organik atık geri dönüşümü genellikle göz ardı edilir, çünkü bunların değeri plastik, cam veya metal gibi diğer atık malzemelere göre daha düşük olarak algılanır (Scheinberg ve ark. 2010). Bununla birlikte, düşük gelirli ülkelerde genellikle üretilen belediye katı atığının (MSW) en büyük kısmını (genellikle% 50 ila 80) oluşturan organik atıkların arıtılması, tüm atık yönetim sistemini önemli ölçüde iyileştirecektir (Wilson ve ark. 2015) ; Lohri ve ark.2017; Zurbrügg ve ark.2018). Ayrıca, uygun olmayan bertaraf uygulamalarıyla ilgili sağlık ve çevre tehlikeleri azaltılacak ve besin kaybı önlenecektir. Organik

atıkların değerlendirilmesi için farklı teknolojiler kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve uygulanmıştır, en yaygın olanı kompostlama ve anaerobik sindirimdir (Zurbrugg ve ark.2018). Bununla birlikte, düşük ve orta gelirli ülkelerde, sınırlı mali kaynaklar, siyasi destek eksikliği, zayıf yasal çerçeveler ve değerlendirme sürecinde ürünlerin pazarlanmasını engelleyen yasal düzenlemeler gibi kısıtlılıklar vardır. Bu nedenle, organik atık değerlendirmesinin katma değer fırsatını teşvik etmek ve uygun iş modelleri tasarlamak organik atık geri dönüşümünü daha cazip hale getirmek için çok önemlidir (Rao ve ark. 2017). Siyah asker sineği (BSF) kullanılarak organik atıkların değerlendirilmesi, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, düşük değerli organik atığın biyolojik olarak yüksek değerli enerji zengini bir ürüne dönüştürülmesi yoluyla atık azaltma ve değer yaratmayı birleştirdiği için umut verici bir teknoloji olarak tanıtıldı. Bu yenilikçi teknoloji, hacmini azaltmak ve besinleri geri kazanmak için BSF larvalarını organik atıklarla besleme prensibine dayanır. Larvalar beslendikçe, hasat edilebilecek ve hayvan yemi rasyonlarında kullanılabilir veya biyodizel dönüşürülebilir yüksek besleyici değere sahip bir biyokütleye dönüşürler. Atık kalıntısı da organik gübre haline gelir. Atık yönetimini iyileştirmenin yanı sıra BSF teknolojisi gıda güvenliğine de katkıda bulunur. Gerçekten de, BSF larva bazlı bileşenler, halen hayvan üretim endüstrisinde kullanılan (St-Hilaire ve ark. 2007b; Newton ve ark. 2008; Salomone), oldukça maliyetli ve gittikçe sürdürülebilir olmayan yem ürünlerine (örneğin, balık unu ve soya küspesi) potansiyel bir seçenek oluşturmaktadır. ve ark.2017; Quilliam ve ark.2017). BSF atık arıtımı, “döngüsel bir ekonominin tasarlanmasındaki eksik halka” yı oluşturur (van Huis ve ark. 2013). Organik atıkların değerlendirilmesi için BSF teknolojisi üzerine araştırmalar nispeten yeni olduğu için, şu anda bu teknolojinin kapsamlı incelemeleri az sayıdadır. Bu çalışma BSF teknolojisine görece kapsamlı bir genel bakış sunmaktadır; Araştırmaların durumunu, bu arıtma yönteminin farklı yönlerini (teknik, ekonomik, çevresel, sosyal ve benzeri) açıklar, organik atıkların değerlendirilmesi için diğer seçeneklerle karşılaştırır, teknoloji uygulamasıyla ilgili vaka çalışmalarını sunar ve daha fazla araştırma ihtiyacını vurgular .

Yöntem olarak 2017'de Bilim ve Bilim Doğrudan veritabanları, Google Akademikleri ve Wiley Online Kütüphanesi, Sage Journals ve Springer Link gibi belirli kütüphaneler kullanılarak kapsamlı bir literatür araştırması yapıldı. Literatür taraması için kullanılan arama dizeleri arasında 'kara asker sineği', 'Hermetia illucens' ve 'organik atıklar' vardı. Daha sonra, veritabanı araması yoluyla bulunan makalelerde kullanılan referanslara dayanarak ek yayınlar tanımlandı. Sonuç olarak toplamda 90'dan fazla çalışma seçilmiş ve gözden geçirilmiştir. Buna ek olarak, Gana ve İsveç'teki BSF sistemleri ziyaret edildi ve BSF sisteminin uygulanmasına ilişkin somut vaka çalışmaları sağlamak için BSF teknolojisiyle çalışan aktörlerle görüşmeler yapıldı. Bu analiz aşağıdaki araştırma soruları tarafından yönlendirildi: (1) BSF tarafından atık arıtma nasıl çalışır? (2) Nasıl uygulanır? (3) Böyle bir sistem teknik, ekonomik ve çevresel bağlamda bir işletme olarak uygulanmasıyla ilgili beklentiler ve kısıtlamalar nelerdir?

2. Black Soldier Fly(BSF)

Latin larva olarak da bilinen BSF (*Hermetia illucens*), Stratiomyidae ailesinden bir dipteriandır). Başlangıçta Orta ve Güney Amerika'nın tropikal bölgesine özgüdür, ancak malların ve insan göçlerinin taşınmasıyla dünyanın diğer bölgelerine yayılmıştır. Bugün, 45 ° N ve 40 ° S enlemleri arasında tropikal ve sıcak ılıman bölgelerde yaygın olarak bulunur. BSF'nin yaklaşık altı ila yedi haftalık kısa bir yaşam döngüsü vardır, bazı yazarlara göre uygun olmayan koşullarda (gıda yetersizliği, düşük sıcaklık, oksijen tükenmesi, kuraklık, vb BSF aktivitesini yavaşlatan durumlarda) dört aya kadar uzatılabilir.. BSF'nin yaşam döngüsünde beş ana aşama ayırt edilebilir: yumurta, larva, prepupa, pupa ve yetişkin . Larva ve pupa evreleri yaşam döngüsünün süresinin çoğunu oluşturur, yumurta kuluçka ve yetişkin evreleri kıyaslandığında nispeten kısadır. Larva aşaması, BSF'nin beslendiği yaşam döngüsünün tek adımı olduğundan özellikle önemlidir. Bu nedenle larvaların biyolojik aktivitelerini sonraki aşamalarda sürdürmek için yeterli miktarda yağ ve protein depolaması gerekir. Şekil 1, BSF'nin farklı yaşam döngüsü aşamalarını ve ana özelliklerini göstermektedir.

3. BSF ile Atık İşleme

BSF tarafından atık işleme süreci, BSF larvalarına, enerji açısından zengin biyokütle ve organik gübre üretmek için organik atık ile beslenmesinden oluşur. BSF'nin birçok özelliği bu böceği organik atığı değerlendirmek için özellikle cazip kılmaktadır: Bunlar BSF larvalarının organik maddeyi tüketme konusundaki iştahı, çok çeşitli organik atık malzemelerin verimli bir şekilde dönüştürülmesini sağlaması, yaşam döngüsünün kısıllığı, doğal olarak atıklardan uzaklaşma davranışı nedeniyle kolayca hasat edilebilirliği. Atık yönetiminde BSF'nin doğal özelliklerinden yararlanmak için, doğal yaşam döngüsü, atık azaltma ve biyokütle üretimini optimize edecek şekilde tasarlanmalıdır. Ayrıca, arıtma ve üretim süreçlerini stabilize etmek ve işlemleri kolaylaştırmak için atıkların güvenilir ve tutarlı bir şekilde arıtılması gerekir . Bu nedenle, bu bölüm, pilot ve / veya deneysel araştırma literatürüne dayanarak BSF teknolojisinin teknik yönlerini ele alır ve nasıl çalıştığını ve nasıl optimize edileceğini açıklar. BSF işleme tesisi kurarken bazı hususlar dikkate alınmalıdır. Bunlar arasında: Kamu hizmetlerine erişim (su, elektrik); Atık su yönetimi seçenekleri; Çevreye verilebilecek rahatsızlıkları (görsel veya koku) en aza indirmek için çevresel ve fiziksel bir bariyerin varlığı, kaliteli hammadde tedarikinin teminatı vardır.

BSF için uygun büyüme koşulları sağlayan işleme tesislerinde süreç şu bölümlere ayrılabilir: (1) atık ön işleme, (2) BSF ıslahı, (3) atık işleme, (4) ürün toplama ve (5) ürünlerin işlenmesi. Bir sonraki bölümde, bir BSF sisteminin farklı bileşenleri açıklanmakta ve her biri için literatürde önerilen optimal çalışma koşulları ve tasarımlar tartışılmaktadır (Şekil 2) .

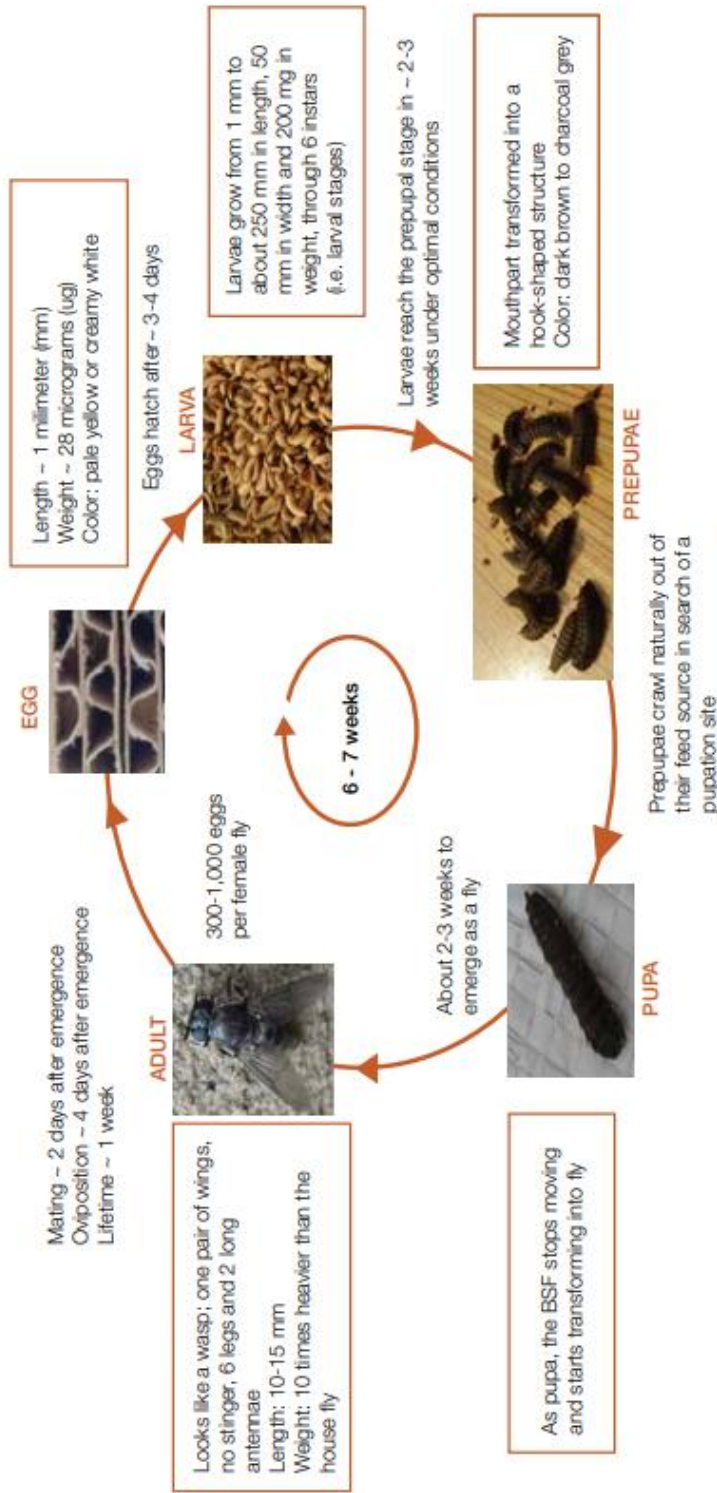
3.1 Hammadde Seçimi

3.1.1 Kaynak

Arıtma tesisinde alınan atıklar her zaman kontrol edilmelidir ; inorganik ve tehlikeli atıklar atık akımından uzaklaştırılmalıdır. Atık niteliğinin BSF aktivitesi ve büyüme performansında kritik bir rol oynadığı bilinmekle beraber, hammadde tipi ve kalitesinin atıkların BSF dönüşümünün sonucunu nasıl etkileyebileceğine dair birçok belirsizlik devam etmektedir. Bu nedenle, uygun bir BSF besleme stoğunun seçilmesi, pratik durumda atık mevcudiyetine ve maliyetine dayanan karmaşık bir süreç haline gelmiştir.

Teoride, BSF larvaları, güçlü ağız parçaları, bağırsak mikrobiyotasının bileşimi, diğer böceklerin mikrobiyotasında bulunmayan bakteri türleri ve tükürük bezlerinde ve bağırsaklarında amilaz, lipaz ve proteaz gibi sindirim enzimlerinin yüksek aktivitesi nedeniyle benzersiz bir canlıdır. Literatüre göre, BSF arıtımında kullanılan hammaddeler şunları içerir: Karışık belediye organik atıkları ; (Meyve ve sebze atıkları gibi gıda, restoran ve pazar atıkları); Kümes hayvanları, inek ve domuz gibi hayvan gübreleri; insan dışkısı; ve Tarımsal atıklardır (gıda işleme atıkları, kullanılmış tahıllar, mezbaha atıkları ve balık atıkları). BSF larvalarının ve besleme stoğunun esnekliğine rağmen, bazı yazarlar BSF larvalarının bir materyali işleme yeteneğini etkileyen önemli parametreleri vurgulamıştır (bakınız Tablo 1) Hammadde niteliği; larva gelişme süresi, prepupa ağırlığı ve atık-biyokütle dönüşüm oranı gibi üç ana parametreyi etkileyebilir.

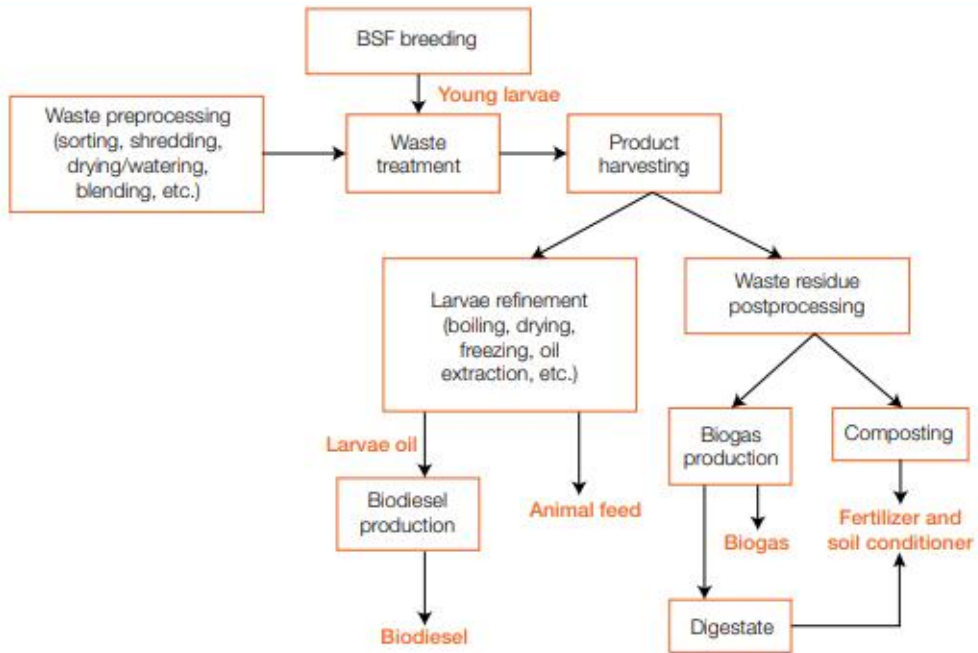
FIGURE 1. LIFECYCLE AND CHARACTERISTICS OF THE BSF.



Sources: Based on data provided by Booth and Sheppard 1984; Sheppard et al. 1994; Tomberlin and Sheppard 2002; Didaro and Kaufman 2009; Dener 2010; Caruso et al. 2013; Banks 2014; Cicková et al. 2015; Dorfman et al. 2017; Lohr et al. 2017; Zurbrugg et al. 2018.

Genel olarak, protein ve toplam katı içerikler atıklarla ilgili en kritik faktörler olmaya devam etmektedir. Bu nedenle, mezbaha atığı, gıda atığı ve insan dışkısı gibi bu iki bileşenden daha yüksek konsantrasyonlara sahip hammaddeler tercih edilmelidir. Ancak saf meyve ve sebze atıkları ve kanalizasyon çamurları, kabul edilebilir diğer malzemelerle karıştırılmadıkça uygun olmayabilir. Araştırmacılar, ham madde protein açısından zengin ve kolayca sindirilebilen karbonhidratlar içeriyorsa; (% 21 protein ve % 21 karbonhidrat gibi) larva gelişiminin optimal olduğunu gördüler. Ek olarak, uygun bir C / N oranı BSF larvalarının biyolojik aktivitesi için kritiktir. C / N oranı 10 ila 40 arasında olan hammaddelerin BSF larvaları tarafından verimli bir şekilde dönüştürüldüğü bildirilmiştir. Ancak, süt ineği gübresinin ve soya fasulyesi fermente tortusunun farklı karışımlarını karşılaştırırken, 16.2 ila 18.4 arasında değişen C / N oranları ile BSF işleminin, lif azaltma ve biyokütle üretimi açısından en iyi performansı gösterdiğini buldular. Benzer şekilde BSF tarafından süt ineği gübresi ve tavuk gübresi karışımının sindirimi için 14.2 C / N oranı önerilmiştir. Öte yandan, yüksek yağ içeriğinin BSF büyümesi için zararlı olabileceği gözlenmiştir .

FIGURE 2. THE CONVENTIONAL WASTE TREATMENT PROCESS USING THE BSF.



3.1.2 Atık Önleme

Farklı tür atıkların karıştırılması, hammaddenin besin dengesini optimize etmeye yardımcı olan ve atık azaltımını artırabilen bir ön işleme yöntemidir. Ancak, farklı hammaddeleri birlikte sindirmenin etkileri henüz tam olarak belgelenmemiştir.

Literatürde vurgulanan diğer işlem parametreleri (bakınız Tablo 1) nem içeriği, parçacık boyutu ve besin içeriğidir.

TABLE 1. THE OPTIMAL PARAMETER VALUES FOR FEEDSTOCK.

Parameters pertaining to the feedstock	Optimal values	Suggested preprocessing methods for optimization	References
Nutrient content	Feedstock rich in protein and carbohydrates (e.g. 21% protein and 21% carbohydrate); Suitable C/N ratio: 10-40 (optimal nutrient balance not established). High contents of volatile solids are preferable	Mixing different waste types	St-Hilaire et al. 2007a; Gobbi et al. 2013; Lalander et al. 2015; Cammack and Tomberlin 2017; Dortmans et al. 2017; Lohri et al. 2017; Rehman et al. 2017a, 2017b; Lalander et al. 2019
Fiber content	Not too high (no optimal value established)	Prefermentation	Zheng et al. 2012a; Caruso et al. 2013; Lohri et al. 2017; Mohd-Noor et al. 2017; Rehman et al. 2017a
Moisture content	60-90% (wet weight (WT))	Dewatering, water addition and/or mixing different waste types	Cammack and Tomberlin 2017; Cheng et al. 2017; Dortmans et al. 2017; Lohri et al. 2017
Particle size	1-2 cm	Shredding	Dortmans et al. 2017; Lohri et al. 2017
pH	5-8 (suitable values)	Mixing different waste types	Caruso et al. 2013; Dortmans 2015; Lalander et al. 2015; Rehman et al. 2017a, 2017b
Structure	Sufficient structure to allow the larvae to move through the feedstock, consume it and breathe	Addition of matrix material, such as pine shavings or crushed charcoal	Barry 2004; Perednia 2016

Bitkisel atıklar veya süt ineği gübresi gibi yüksek lif içeriği ile karakterize edilen lignoselülozik atıkların BSF tarafından dönüştürülmesinin daha zor olduğu bildirilmiştir. Bu tür malzemelerin fermente edilmesine izin verildiğinde, karmaşık organik moleküller BSF larvaları tarafından daha kolay asimile edilen daha basit elementlere ayrılır, bu da yararlı bir ön işlem olabilir. Palmiye yağı ve hindistan cevizi sütü çıkarma endüstrilerinden kaynaklanan atıklarda, tipik olarak birkaç haftaya kadar fermantasyon yeterlidir. Daha uzun süren bir fermantasyon uygulandığında, substratta çok fazla mikroorganizma büyüebilir ve ortak besinler için BSF larvaları ile rekabet edebilir. BSF besleme stoğu, larvaların materyali almasına izin verecek kadar nemli olmalıdır. Çok kuru malzemeler BSF larvaları tarafından işlenemez. Ancak gıda kaynağı çok ıslaksa, larvalar daha kuru bir yer aramak için atıktan uzaklaşacak veya tedavinin sonunda kalıntıdan ayrılması daha zor olacaktır larvaların gelişme

oranının hammaddenin nem içeriği ile kontrol edilebileceğini belirtti. Son çalışmalar WW'nin yaklaşık% 60 ila 90'ı kadar uygun nem içeriğine sahip olduğunu göstermiştir. WW'nin% 40 ila 70'i arasındaki nem içeriğinin BSF larva gelişimi için optimal olduğunu bildirmiştir. Bu nedenle, dışkı çamuru veya meyve ve sebze atığı gibi çok nemli olan atıklar işlenmeden önce susuzlaştırmayı gerektirebilirken, tavuk gübresi gibi daha kuru malzemelere su ilave edilmelidir. İdeal çözüm, bir parçalayıcı veya bir çekiçli değirmen uygun bir nem seviyesine kolayca ulaşmak için farklı su içeriğine sahip malzemeleri karıştırmak olabilir. Partikül boyutu 1 ila 2 santimetreden (cm) daha küçük olan hammaddeler, çiğneme ağız olmayan larvaların yiyeceklere daha kolay erişmesini sağlar. Literatürde nadiren ele alınmasına rağmen, bir başka önemli parametre de hammaddenin yapısıdır. Hammaddenin larvaların malzeme içinde hareket etmesine, tüketmesine ve yeterli miktarda oksijen almasına izin verecek yapıya sahip olmasının önemini vurgulamıştır, bu çerçevede BSF larvalarının atık yığını üzerinde oyma ve hareket etme yeteneğini geliştirmek için çam talaşı ve ezilmiş kömür gibi matris malzemelerin eklenmesini önerdi. Literatür, pH'ı BSF larvalarının bir hammadde işleme yeteneğini etkileyen önemli bir faktör olarak tanımlamamaktadır ve incelenen çalışmaların hiçbiri pH değeri için optimal bir aralık önermemektedir. PH'ı 5 ila 8 arasında değişen hammaddeler BSF larvalarını içeren deneylerde başarıyla işlenmiştir. Bununla birlikte, tampon kapasitesinin BSF larvalarının biyolojik aktivitesi için çok önemli olduğunu bildirmiştir. PH'ı 5.1 ila 7.9 arasında değişen farklı süt ineği gübresi ve fermente soya tortusu karışımları için BSF tedavi performansının karşılaştırılmış, Rehin ve ark. süt ineği gübresi ve tavuk gübrelerini BSF ile birlikte sindirmek için pH değeri 6,7 olan substrat için en büyük lif indirgeme ve biyokütle üretimini gözlemlemişlerdir.

3.2 Üreme Koşulları

İki ana tip BSF atık arıtma sistemi vardır; BSF tarafından doğal kolonizasyona dayanan sistemler ve yapay yetiştirme sistemleri. Doğal kolonizasyona dayanan sistemler genellikle ev düzeyinde, arka bahçe uygulamaları için kullanılır. Kontrollü bir atık arıtma tesisi bağlamında uygun değildirler. Bu nedenle, son literatürler çoğunlukla BSF'nin genç larvaları üretmek için yapay koşullarda yetiştirildiği bir üreme ünitesini içeren yetiştirme sistemlerine odaklanmaktadır. Bu tür sistemler doğal BSF popülasyonlarına bağlı olanlardan pahalı ve karmaşıktır, ancak çok daha kontrollü bir çalışma ve istikrarlı bir üretime izin verir. Bu nedenle, bu derleme ikinci sisteme odaklanmaktadır, atık arıtma işleminin yürütülmesini sağlamak için yeterli genç larva üretimi çok önemli olduğundan, bir BSF atık arıtma tesisinde üreme biriminin oynadığı kilit rol vurgulanmış, yeterince büyük ve sağlıklı bir BSF kolonisinin sürdürülmesinin sürecin en hassas adımı olduğuna dikkat çekilmiştir. Koloniyi korumak için, genç larvaların bir kısmı tipik olarak üreme ünitesinde tutulur veya alternatif olarak, atık arıtma ünitesinden hasat edilen prepupalar, sinekler haline gelmek için üreme ünitesine yeniden eklenir. Sinekler daha sonra larvalar çıkana kadar inkübe edilen yumurtaları üretmek için kullanılır. BSF'yi yaşam döngüsünün her aşamasında desteklemek için en uygun çalışma koşulları ve tasarımlar aşağıdaki bölümlerde tartışılmış ve Tablo 2'de özetlenmiştir.

TABLE 2. OPTIMAL BREEDING CONDITIONS AND OPERATIONAL DESIGNS SUGGESTED IN THE LITERATURE.

Lifecycle stage	Optimal operating conditions				Suggested operational designs	References
	Temperature	Humidity	Light	Diet		
Eggs	Constant temperature (e.g. ~ 27 °C)	> 60%	Dark environment, with 0-50% daily light exposure	None	Eggs incubated in a covered container and placed above a feed source for neonate larvae	Sheppard et al. 2002; Zhang et al. 2010; Diener et al. 2011; Alvarez 2012; Holmes et al. 2012, 2017; Mutafela 2015
Juvenile larvae (4-6 days old)	Constant temperature in the 24-33 °C range	Relatively constant humidity level	Dark environment	Special diet (e.g. wheat bran, rabbit or chicken feed) with enough structure	Juvenile larvae kept for 4-6 days after hatching in the incubation container	Sheppard et al. 2002; Diener et al. 2011; Caruso et al. 2013; Dormans et al. 2017; Yang 2017
Larvae	24-33 °C	The literature focuses on the moisture content of the feedstock	Dark environment	Well-defined diet or organic waste to be treated	Larvae fed with a well-defined feed until they reach the prepupal stage or are used for waste treatment	Sheppard et al. 2002; Tombellin et al. 2002; Alvarez 2012; Caruso et al. 2013; Hamden and Tombellin 2016; Dormans et al. 2017
Prepupae/pupae	In the same range as the larval stage (24-33 °C)	60-70%	Dark environment, with 0-50% daily light exposure	None	Prepupae collected in a container filled with a dry and water-absorbing material, connected to the feeding container through a pipe (inclination: 28-45°) or feeding container placed directly in the collection container	Newton et al. 2005; Diener et al. 2011; Alvarez 2012; Caruso et al. 2013; Banks 2014; Mutafela 2015; Lh 2016; Nakamura et al. 2016; Dormans et al. 2017; Holmes et al. 2017
Adults	25-32 °C	> 60%	Morning sunlight	None, but providing water with sugars recommended	Greenhouse or netted cage (size ranging from 0.27 x 0.27 x 0.27 meters (m) to 3 x 3 x 6 m). Oviposition media with cavities made of cardboard or wood and placed on or close to organic matter with a sufficiently strong smell	Booth and Sheppard 1984; Holmes et al. 2012; Sheppard et al. 2002; Tombellin and Sheppard 2002; Zhang et al. 2010; Diener et al. 2011; Alvarez 2012; Caruso et al. 2013; Mutafela 2015; Nakamura et al. 2016; Dormans et al. 2017

3.2.1 Çiftleşme ve Yumurtlama

BSF ortaya çıktıktan yaklaşık iki gün sonra çiftleşmeye, çiftleşmeden yaklaşık iki gün sonra da dişiler yumurtalarını bırakmaya başlarlar. Genel olarak, her dişi BSF tarafından bırakılan yumurta sayısı 320 ila 1,000 arasında değişmektedir. Yetişkin sinek, yağ rezervi tükendiğinde ölürlür. Dişiler yumurtlamadan birkaç saat sonra ölür. Yumurtlama genellikle çürüyen organik maddeye yakın bir yerde gerçekleşir ve yumurtadan çıktıktan hemen sonra larvaların bir yem kaynağına erişimi gözetilir. Dişi sinekler, yırtıcılardan korunmalarını sağlamak ve doğrudan güneş ışığı ile kurumalarını önlemek için yumurta paketlerini yerleştirebilecekleri küçük boşlukları olan ortamları seçiyor gibi görünmektedir. Larvalar yaklaşık üç ile dört gün sonra yumurtadan çıkarlar. Sıcaklık, çiftleşme ve yumurtlamanın sağlanmasında önemli bir rol oynar. BSF dişileri yumurta bırakmak için 26 ° C'den yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyarlar (1984) özellikle yumurtlamanın% 99,6'sının sıcaklık 27,5 ila 37,5 ° C arasında gerçekleştiğini gözlemlenmiştir. Özellikle, güneş ışığı altında, çoğu çiftleşmenin (% 75) ışık yoğunluğu 200 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'den yüksek olduğunda ve çiftleşmenin gerçekleşmesi için minimum 63 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ gerektiğini gözlemlenmiştir. Ancak 110 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'in üzerinde güneş ışığına maruz kalan sineklerin çiftleşme aktivitesinin azaldığını kaydetmiştir. Bu fark, ışık yoğunluğuna ek olarak, günün zamanının çiftleşme oranını etkilediği göstermiştir. Çiftleşme genellikle günün erken saatlerinde başlar (saat 10: 00'da), yumurtlama ise genellikle günün ilerleyen saatlerinde gerçekleşir. Bazı yazarlar ışık kaynağı ve dalga boyu aralığının da çiftleşme aktivitesini etkilediğini bildirmektedir. Özellikle çiftleşme, güneş ışığının yanı sıra 450 ila 700 nanometre (nm) dalga boyuna sahip yapay ışık ile uyarılır. Bununla birlikte, güneş ışığında yapay ışıktan daha fazla doğurganlık ve kuluçka randımanı elde edilebilir.

Öte yandan, ışık yumurtlamayı etkilemez. Uygun olmayan ışık koşulları altında, BSF dişileri çiftleşmeden yumurta bırakabilirler. Ancak, bu yumurtalar kısır. Ek olarak, 350 ila 2.500 nm spektrumlu bir kuvars-iyot lambasından güneş ışığı ile karşılaştırıldığında benzer sayıda yumurta kaydetmiştir. Dahası, çiftleşmeyi uyararak için kullandığı bu ışık kaynağı ile doğal güneş ışığı ile benzer larva ve pupal gelişim sürelerini gözlemlenmişlerdir. Ayrıca, nemli koşulların BSF yetişkinlerinin ömrünü uzatabileceği ve böylece üremelerini destekleyebileceği görülmektedir. Tipik olarak,% 70 bağıl nem seviyesinde yetişkin sineklerin, daha kuru ortamdakilerden iki ila üç gün daha uzun yaşadığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, sineklerin içmesi için su sağlamanın da faydalı olduğu bildirilmektedir, yeterli su kaynağı varsa sinekler susuz olanlardan bir ila iki gün daha uzun yaşarlar. Suya şeker ilave edilmesinin de üremeyi desteklediği bildirilmektedir. % 30 ila 90 gibi geniş bir nem aralığında çiftleşme ve yumurtlama gözlemlenmiştir. Bir yumurtlama bölgesi seçmek için dişiler, sensörlerle kaplı yumurtlama organını içeren karınlarının ucunu kullanırlar. Bu nedenle, bir yumurtlama bölgesi ararken, BSF dişileri, özelliklerini araştırmak için karınlarının ucunu bir substrat yüzeyi boyunca sürükler. Bu süreç, dişilere alt tabakadaki BSF yumurtalarının durumu, çıkacak larvalar için, rakiplerin veya patojenlerinin varlığı ve besinlerin bulunabilirliği hakkında bilgi verir

Yumurtlama yapan dişilerin BSF yumurtalarından izole edilen bakterileri içeren substratlardan etkilendiği gözlenmiştir, Tersine rekabet halinde olduğu sinek veya böcek larvalarından izole edilen bakterilerin varlığı ise yumurta bırakma yeri için caydırıcıdır. Bir yumurtlama bölgesi arayışı içinde olan dişiler ayrıca atıkların ayrıştırılması sırasında ortaya çıkan sızıntı suyundan etkilenebilir ve diğer dişileri bu alana çekmek için kimyasal işaretler bırakabilir.

Operasyonel Tasarımlar

Çiftleşme ünitesi için literatürde farklı tasarımlar bulunabilir. En yaygın olanları seralar ve ağ kafeslerdir.

Güneş ışığının mevcudiyetine bağlı olarak, çiftleşme üniteleri ya lambalarla donatılmıştır ya da güneş ışığına maruz kalmaktadır. Bununla birlikte, tropikal bölgelerde, sineklerin hızlı dehidrasyonunu önlemek için kafesi doğrudan güneş ışığına maruz bırakmamanız önerilir. Çiftleşme birimi, sineklerin uçuşta çiftleşmesine izin verecek kadar büyük olmalıdır. Literatürde çiftleşme kafesi için bildirilen boyutlar tipik olarak 0.7 x 0.7 x 1.4 m ile 3 x 3 x 6 m arasında değişmektedir.

Sinek yoğunluğu yaklaşık 100 ila 5.200 sinek/m³ arasındadır. Doğada BSF çiftlerinin çiftleşme sırasında yerden 1.5 m yüksekliğe kadar uçabildiklerini gözlemledikleri için çiftleşme kafesinin tavanının 1.5 m'den daha yüksek olmasını önerenler vardır. Bununla birlikte Nakamura ve ark. (2016) döllenen yumurtaların 27 x 27 x 27 cm kadar küçük bir kafeste veya yüksek sinek yoğunluğunda da (5.000 sinek m⁻³) olabileceğini göstermiştir. Buna ek olarak, Tomberlin ve Sheppard'ın (2001) gözlemlerine dayanan birkaç yazar, doğal ve yapay bitkilerin, çiftleşme ünitesine yerleştirilmesini önerdi. Bazı kurulumlarda, sinekler düzenli olarak su püskürterek ve / veya sineklerin içinde boğulmaması için su veya ıslak pamukla dolu bir kaba ıslak bir bez yerleştirerek nemlendirilir.

Yumurtlama için uygun bir ortam sağlamanın önemini vurgulanmış, böylece tüm dişiler yumurtalarını aynı yere bırakmış ve yumurta toplama işlemini kolaylaştırdığı gözlenmiştir. Yumurtlama ortamının çeşitli koşulları yerine getirmesi gerekir. Booth ve Sheppard (1984) BSF dişilerinin yumurtalarını kuru bir ortama bırakmayı tercih ettiklerini gözlemlemişlerdir. Literatürde, yumurtlama ortamı için farklı malzeme ve şekillere sahip tasarımlar önerilmektedir. Karton ve ahşap en yaygın kullanılan malzemelerdir. Diğer malzemeler arasında kağıt havlular, kuru muz ağacı yaprakları da bulunmaktadır. Tasarım örnekleri, küçük boşluklarla ayrılmaları için birbirine bağlanmış karton veya ahşap şeritleri, karton petek, karton rulolar, birbirine yapııştırılmış üç kat oluklu mukavvadan yapılmış bloklar ve şişlerin etrafına sarılıp halka şekli verilmiş oluklu mukavva şeritleri bambu, normalde balık havuzlarının akvaryumları için biyofiltreler olarak tasarlanan 'bioballs' içerir. Ayrıca yumurtlama ortamı, yumurtalarını yumurtlama ortamına yerleştirmek üzere dişileri çekmek için yeterince güçlü bir kokuya sahip organik madde üzerine veya yakınına yerleştirilmelidir. Çoğu deneysel ortamda ayrışan organik atıklar kullanılır (Dierner ve ark. 2011; Mutafela 2015). Dortmans ve diğ. (2017) ölü sineklerin ve yumurtaların kendilerinin bir çekici olarak kullanılabileceğini, ayrıca yumurta toplamak

için kullanılan eski bir atraktan kabındaki kalıntı ile karıştırılmasını önerdi. Öte yandan Furman ve ark. (1959) ve Tomberlin (2017), dişilerin halihazırda BSF larvaları içeren substratlara daha çok ilgi duyduklarını ve bu nedenle larvaların atraktan konteynere yerleştirilmesini tavsiye ettiler, ancak diğer yazarlar bu hipotezi desteklemedi (Kemppineen 1998; Tomberlin ve Sheppard 2002). Mutafela (2015) ayrıca atraktan dişilerin içinde boğulmasını önlemek için çok ıslak olmaması gerektiğine dikkat çekti. Son olarak, Dortmunds (2015) dişi sineklerin daha güvenli olduğu düşünülen gölgeli yerleri tercih ettiklerini bildirmiştir. Bu nedenle Dortmunds ve ark. (2017) yumurtlama ortamının üzerine bir gölgeleme sepeti yerleştirilmesini önerdi.

3.2.2 Yumurta Toplama ve Kuluçka Çalıştırma Koşulları

Alvarez'e (2012) göre yumurtalar özellikle çevresel parametrelerdeki değişikliklere karşı savunmasızdır. Bu nedenle, yumurtalar sabit bir sıcaklıkta tutulmalıdır. Örneğin, Sheppard ve ark. (2002), yumurtaları 27 ° C'de tutmanın, yumurtadan çıkma oranlarının yeterli nem altında % 80'i aştığını gözlemledikleri için tatmin edici sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Nem ile ilgili olarak Holmes ve ark. (2012) bağıl nem seviyesi arttıkça yumurtadan çıkma başarısının arttığını, % 60'ın üzerindeki nem seviyelerinin en uygun yumurta kuluçka çıkış oranını sağladığını ve yumurtaların kurummasını önlediğini bildirmişlerdir (Holmes ve ark. 2012).

Operasyonel Tasarımlar

Literatürde önerilen tüm tasarımlarda, yumurta içeren yataklar toplanır ve kuluçka için başka bir yere aktarılır. Yumurta yatakları yeni çıkmış larvalara göre adapte edilmiş yüksek kaliteli bir yem kaynağının üstüne yerleştirilir (Zhang ve ark.2010; Diener ve ark.2011; Mutafela 2015). Birkaç durumda, yumurta kümeleri yumurtlama ortamından manuel olarak çıkarılır ve doğrudan bir kuluçka kabına yerleştirilir. Bununla birlikte, bu yöntem emek yoğunudur ve büyük ölçekli operasyonlar için önerilmez (Caruso ve ark.2013; Popoff ve Maquart 2016a). Kuluçka kabı genellikle yumurtaları ve yavru larvaları yırtıcılardan korumak için ince bir ağ ile kaplanır (Sheppard ve ark. 2002; Zhang ve ark.2010; Diener ve ark.2011; Mutafela 2015; Nakamura ve ark. 2016; Popoff ve Maquart 2016a). Diener ve ark. 2011), Kaplar karanlık ve sıcak bir ortama yerleştirilir, ancak bu Holmes ve ark. (2017), yumurtaların günde 12 saat ışığa maruz kaldıklarında 0 veya 8 saat ışığa (2012) maruz kaldıklarına göre daha hızlı yumurtadan çıktıklarını bulmuşlardır.

3.2.3 Larva Yetiştiriciliği

Yeni çıkmış larvalar, çevre koşullarındaki değişikliklere ve gıda rekabetine karşı özellikle duyarlıdır. Bu nedenle, onları özel bir diyetle beslemek ve birkaç gün, genellikle dört ila altı gün boyunca kontrollü ve korunmuş bir ortamda tutmak hayatta kalma oranlarını artırır (Diener ve ark.2011; Popoff ve Maquart 2016a; Dortmunds ve ark.2017; Lalander, pers. Comm., 16 Haziran 2017). Literatürde genç larvalar için çeşitli diyetler önerilmektedir. Bunlar arasında mısır unu, buğday kepeği ve su (Sheppard ve ark. 2002'den uyarlanmış Mutafela 2015), ile karıştırılmış tavşan yemi (Diener ve

ark. 2011) veya su ile karıştırılmış civcivler için başlangıç yemi (Dortmans ve ark. 2017). Yang (2017) gibi.

Besleme ortamının, nefes almak için gözenek alanı yaratacak kadar güçlü olmayan bebek larvalar için özellikle sorunlu olduğu belirtilmiştir. Yonca ve mısır unu gibi çok ince partikül boyutu ile karakterize edilen veya çok yapışkan olan diyetlerin kullanılmaması tavsiye edilir. Bunun yerine, bebek larvaların nefes almasını sağlayacak gevşek bir doku oluşturmak için diyete odun dalları, buğday kepeği, pirinç kepeği veya ahşap tıraş tozu gibi düşük yoğunluklu ancak yüksek sertliğe sahip matris malzemelerinin eklenmesi önerilir (Lalander, pers. Comm., 16 Haziran 2017; Yang 2017). Literatürde dört ila altı günlük larvaların akıbetine ilişkin iki ana senaryo ile karşılaşılmaktadır. İlkinde, genç larvaların bir kısmı yetişkinliğe ulaşmak ve böylece yeni larvalar üretmek için üreme ünitesinde tutulur (Popoff ve Maquart 2016a; Dortmans ve ark. 2017). Diğer bir seçenek, reaktörde tüm larvaları kullanmak ve daha sonra prepupaların bir kısmını üreme ünitesine tekrar sokmaktır. İlk senaryoda, üreme ünitesinde tutulan larvalar, hazırlık aşamasına gelene kadar iyi tanımlanmış bir yemle doldurulmuş bir kaba yerleştirilir (Dortmans ve ark.2017; Zurbrugg ve ark.2018). Sheppard ve ark. Tarafından önerilen yapay diyet örneği damızlık BSF larvalarının üremesi için,% 50 buğday kepeği,% 30 yonca küspesi ve% 20 mısır küspesinden oluşan Gainseville diyetidir. İkinci senaryoda, sistem arızası durumunda örneğin atığın kirlenmesi durumunda koloninin çökme riski vardır. Ayrıca, larvaları kontrollü bir diyetle beslemek, daha pahalı olmasına rağmen, başarısızlık riskini azaltır. Buna ek olarak, diyetin erişkin sineklerinin hem fizyolojik hem de morfolojik özelliklerini ve özellikle dişilerin doğurganlığını etkilediği gösterildiğinden, larva diyetinin kontrol edilmesi sağlıklı ve üretken bir koloniyi korur (Gobbi ve ark.2013). Bazı yazarlar larvaların fotofobik olduğunu ve bu nedenle karanlık bir ortamda tutulmaları gerektiğini bildirmelerine rağmen (Caruso ve ark. 2013; B. Dortmans, pers. Comm., 28 Eylül 2017). Holmes ve ark. (2017) larvalar karanlıkta tutulursa, yetişkin hale gelmek için yaklaşık üçte bir daha fazla zamana ihtiyaç duyduklarını tespit ettiler.

Larva gelişimi için ideal sıcaklık 24 ila 33 ° C arasında değişmektedir (Alvarez 2012; Dortmans ve ark. 2017). Atıkta sıcaklık çok yüksekse, larvalar daha soğuk bir yer bulmak için gıda kaynağından uzaklaşır. Öte yandan, düşük sıcaklıklara maruz kalan larvalar, hayatta kalmak için metabolizmalarını yavaşlatacak, bu da daha az beslenecek ve böylece daha yavaş bir hızda büyüyecekleri anlamına gelmektedir (Dortmans ve ark. 2017). Larvaların yetiştirildiği sıcaklık, larva büyüme hızını etkilemesinin yanı sıra, gelecekteki yetişkin sineklerin boyutunu ve ömrünü de etkiler. Tomberlin ve diğ. (2009), 27 ° C'nin üzerindeki sıcaklıklarda daha kısa ömürlü daha küçük yetişkinlerin gözlendiğini bildirmiş, prepupal ağırlık düşük sıcaklıklarda daha yüksek bulunmuştur. Kritik sıcaklık ~ 27' gibi görünmekte çok üstünde veya altında değerler verimi etkilemektedir. Ayrıca Tomberlin ve ark. (2009), 36 ° C'de yetiştirilen larvaların sadece% 0.1'inin yetişkin evresine ulaştığını gözlemledi, bu da sürekli yüksek sıcaklıkların damızlık üreme larvaları için uygun olmadığını düşündürmektedir.

Bu çalışmalara dayanarak, üst sıcaklık sınırı 33 ve 36 ° C arasında gibi görünmektedir (Tomberlin ve ark. 2009; Harnden ve Tomberlin 2016)

3.2.4 Göçmen Prepupaların Toplanması

Larvalar prepupal aşamaya ulaştıklarında maksimum boyuttadır. Beslenmeyi bırakırlar ve sindirim sistemlerini boşaltırlar (Diener 2010; Banks 2014; Dortmans ve diğerleri 2017). Kanca şeklindeki ağız parçalarını kullanarak, yiyecek kaynağından uzaklaşır ve yetişkin sinek hale gelecekleri kuru, karanlık ve korunan bir yere ulaşırlar (Diener 2010; B. Dortmans, pers. Comm., 28 Eylül 2017). Ortalama göç süresi literatürde bildirilmemiştir. Alvarez'e (2012) göre, bu larvaların uygun bir pupa alanı bulma yeteneğine bağlıdır. Alvarez (2012) ayrıca larvaların bir göç yeri ararken, diğer larvaların bulması için kimyasal bir iz bırakabileceğini ve bunun da bir göç yoluna neden olabileceğini öne sürmüştür.

Besleme kabı başka bir ortama bağlı olmalıdır ve bu bağlı konteyner kuru ve su emici bir malzeme ile doldurulmalıdır (Dortmans ve ark.2017). Bu sonuncu kap doğrudan bir pupa kabı (Diener ve ark.2011; Mutafela 2015) veya bir transfer kabı (Dortmans ve ark.2017) olarak kullanılabilir. İki konteyner arasındaki bağlantı ile ilgili olarak, pupa kabına giden bir boruya bağlanan rampalar kullanılabilir (Diener vd. 2011; Mutafela 2015). Çıkış rampası için 28 ° ila 45 ° arasındaki eğimler başarıyla test edilmiştir (Newton ve diğerleri 2005; Diener ve diğerleri 2011; Banks 2014; Mutafela 2015). Bununla birlikte, Banks (2014), nem yüzey gerilimini korumak için yeterliyse BSF prepupalarının dikey yüzeylere tırmanabileceğini bildirmiştir. Bu nedenle, besleme kabını toplama kabına bağlamak için rampalar kullanmak yerine, besleme kabı, doğrudan prepupaların besleme kabının iç duvarına tırmandıktan sonra düşeceği daha büyük bir toplama kabınının içine yerleştirilebilir (Nakamura et al. 2016; Dortmans ve diğerleri 2017)

3.2.5 Pupasyon

Pupasyonun, larva aşamasıyla aynı aralıkta kararlı sıcaklık koşullarını tercih ettiği bildirilmektedir (Dortmans ve ark. 2017). Bununla birlikte, ışığın etkisi biraz belirsizdir. Bazı yazarlar pupaların fotofobik olduğunu ve karanlık bir çevre gerektirdiğini iddia ederken (B. Dortmans, pers. Comm., 28 Eylül 2017; Caruso ve ark. 2013), Holmes ve ark. (2017), günde 12 saat ışığa maruz kalan pupaların, karanlıkta tutulan pupalara kıyasla yetişkinler olarak daha hızlı bir şekilde kabuklarından çıktığını tespit ettiler. Yetişkinlerin ortaya çıkma başarısı, bağlı nem seviyelerinin artmasıyla birlikte artmaktadır. Tipik olarak, pupaların kurummasını önlediğinden% 60 ila 70'lik bir nem seviyesi önerilir (Alvarez 2012; Holmes ve ark.2012). Literatürde pupa ortamı olarak çeşitli materyaller önerilmiştir. Bazı yazarlar odun yongaları (Diener ve ark. 2009b, 2011; Alvarez 2012), saman (Diener ve ark. 2011), turba (Mutafela 2015), kuru kahve telvesi (Nakamura ve ark. 2016) önerdi. Öte yandan Dortmans ve ark. (2017) ise pupaların gömülebileceği kompost, nemli kokopit, turba veya saksı toprağı gibi nemli bir malzeme kullanılmasını önermektedir. Bu, pupa ortamında% 50 ila 85 nem seviyesini koruyarak optimum yetişkin çıkış oranlarının elde edildiğini tespit eden Lin (2016)

tarafından desteklenmektedir. Son olarak Alvarez (2012) 15-20 cm derinlikte bir pupa ortamı sağlamayı önerdi. Ortaya çıkan sineklerin kaçmasını önlemek için Diener ve ark. (2011) bir naylon ağ ile kaplanmasını önerirken, Dortmunds ve ark. (2017), pupa kaplarını, yeni ortaya çıkan sinekleri içermesine bağlı olarak, pupa sürecini destekleyen daha stabil çevresel koşullar sağladığını düşündüğü karanlık bir kafesin içine yerleştirmeyi önerdi.

Pupa kabının yeri ile ilgili olarak, literatürde iki ana seçenek açıklanmaktadır. Birincisi, kabın doğrudan çiftleşme kafesine (Mutafela 2015) yerleştirmek, böylece sinekler yavru kabuğundan çıktıklarında doğrudan çiftleşebilmesini sağlamaktır. Bununla birlikte, çoğu kurulumda, pupalardan sineklerin çıkması ayrı kapalı karanlık kafeslerde gerçekleşir ve sinekler ortaya çıktığında, sonradan çiftleşme kafesine bırakılırlar (Diener ve ark.2011; Popoff ve Maquart 2016a; Dortmunds ve ark.2017). İslah Performansı Dortmunds ve ark. (2017), üreme sürecinin performansını değerlendirmek ve potansiyel sorunları belirlemek için BSF yaşam döngüsünün her aşamasında hayatta kalma oranlarının yanı sıra yumurtlama oranının izlenmesini önermişlerdir. Tablo 3, iki Endonezya BSF atık arıtma tesisinde kaydedilen yaygın olarak kullanılan yetiştirme performansı göstergeleri için değerleri karşılaştırmaktadır.

TABLE 3. COMPARISON OF BREEDING PERFORMANCE IN TWO INDONESIAN FACILITIES.

Performance indicators	Values (%) reported by Dortmunds et al. (2017)	Values (%) reported by Caruso et al. (2013)
Hatching rate	70	80
Larval survival rate	70	60
Adult emergence rate	80	90
Oviposition rate	350 eggs female ⁻¹	18 eggs female ^{-1 a}

^a Calculated based on the value provided by Dortmunds et al. (2017) for the average weight of an egg (25 µg). As pointed out by Caruso et al. (2013), this value is very low compared to values reported in the literature, which could be explained by a range of physical, behavioral, abiotic or technical factors.

3.2.6 Üreme Performansının İzlenmesi

Dortmans ve ark. (2017), üreme sürecinin performansını değerlendirmek ve potansiyel sorunları belirlemek için BSF yaşam döngüsünün her aşamasında hayatta kalma oranlarının yanı sıra yumurtlama oranının izlenmesini önermişlerdir. Tablo 3, iki Endonezya BSF atık arıtma tesisinde kaydedilen yaygın olarak kullanılan yetiştirme performansı göstergeleri için değerleri karşılaştırmaktadır.

3.3 Atık Arıtma

Atık arıtmanın kendisi, yetiştirme ünitesinde üretilen genç larvaların işlenecek organik atıklarla beslenmesinden ibarettir. Atıktan beslenen larvalar, atıkları azaltırken enerji açısından zengin prepupalara dönüşürler (Dortmans ve ark. 2017). Üreme ile karşılaştırıldığında, atık arıtma adımı nispeten basittir (Lohri ve ark. 2017). BSF atık arıtımı için en uygun çalışma koşulları Tablo 4'te

özetlenirken, BSF yetiştirme kapları için literatürde önerilen ana operasyonel tasarımlar Tablo 5'te açıklanmaktadır.

3.3 Waste Treatment

The waste treatment itself consists of feeding the young larvae produced in the breeding unit with the organic waste to be processed. The larvae fed on the waste grow into energy-rich prepupae while reducing the waste (Dortmans

et al. 2017). Compared to breeding, the waste treatment step is relatively simple (Lohri et al. 2017). Optimal operating conditions for BSF waste treatment are summarized in Table 4, while the main operational designs proposed in the literature for BSF rearing containers are described in Table 5.

TABLE 4. OPTIMAL OPERATING CONDITIONS FOR BSF WASTE TREATMENT.

Operating parameter	Optimal value	References
Feeding rate	20-130 for high biomass production and 4-60 for high reduction rate (mg [milligram] larva ⁻¹ day ⁻¹ , dry weight [DW]), depending on the waste type	Myers et al. 2008; Diener et al. 2009b; Caruso et al. 2013; Banks 2014; Parra Paz et al. 2015
Larval density	1.2-5 larvae cm ²	Parra Paz et al. 2015
Waste layer thickness	< 7.5 cm or < 15 cm if matrix materials are added to the waste	Perednia 2016; Yang 2017

TABLE 5. OPERATIONAL DESIGNS PROPOSED IN THE LITERATURE FOR THE BSF REARING CONTAINERS.

Type	Characteristics	References
Type	Individual containers or larger basins	Tomberlin et al. 2002; Newton et al. 2005;
Volume	40-400 liters (L)	Diener et al. 2011; Caruso et al. 2013;
Material	Plastic, metal or concrete	Devic 2014; Charlton et al. 2015;
Special features	Drainage system, system to prevent disturbance from other insects or predators	Lalander et al. 2015; Mutafela 2015; Popoff and Maquart 2016a, 2016b; Dortmans et al. 2017

3.3.1 Çalışma Koşulları

BSF larvaları için optimal çevresel koşullar ve diyet Bölüm 3.1 ve 3.2.3'te tartışılmıştır. Atık arıtımı için ek anahtar çalışma koşulları larva yoğunluğu, besleme hızı ve besleme rejimidir. Uygun bir besleme hızı ve larva yoğunluğu seçerken, düşük besleme hızı ve yüksek larva yoğunluğu ile teşvik edilen atık azaltma verimliliği (atık yönetimi perspektifi) ile yüksek besleme ile tercih edilen biyokütle üretimi (ekonomik perspektif) arasında bir denge vardır

Ek olarak, Dortmans ve ark. (2017), besleme hızı çok yüksekse, BSF larvalarının tüm atıkları işleyemediğini, bakterilerin aktivitesinden dolayı ısının birikebileceği ve larvalar için olumsuz bir ortam yaratacağı işlenmemiş bir atık tabakası ile sonuçlandığını belirtmiştir. Öte yandan, çok düşük bir besleme oranı larva gelişimini ve atık arıtma verimliliğini engelleyen gıda kıtlığına neden olur (Dortmans ve ark. 2017). Tablo 6, larva büyümesi, atık azaltma ve her iki parametre açısından farklı hammaddeler için optimal besleme hızı değerlerini göstermektedir.

TABLE 6. OPTIMAL FEEDING RATE VALUES IN TERMS OF BIOMASS PRODUCTION AND/OR WASTE REDUCTION FOR DIFFERENT FEEDSTOCKS.

Feedstock	Optimal feeding rate (mg larva ⁻¹ day ⁻¹) in terms of...			References
	...biomass production	...waste reduction	...both biomass production and waste reduction	
Chicken feed (UFA 625) (60% moisture content)	≥200 ^a	100 ^a	100	Diener et al. 2009b
Vegetable and fruit waste (DW)	≥130 ^a	≤20 ^a	163 ^a	Parra Paz et al. 2015; Saragi and Bagastyo 2015
Dairy manure (~ 70% moisture content)	≥70 ^a	≤27 ^a	-	Myers et al. 2008
Human feces (65-85% moisture content)	≥200 ^a	≤50 ^a	-	Banks 2014
Palm kernel meal (DW)	≥64 ^a	≤4 ^a	-	Caruso et al. 2013

Note: ^a ≥ indicates that it was the maximal value tested in the experiment; ^b ≤ indicates that it was the minimal value tested in the experiment; ^c this value was established using the waste reduction index, which in addition to taking into account the waste reduction, considered the larval development time; ^d this value was established using additional parameters, besides biomass production and waste reduction, i.e. the temperature change, the final pH and the leachate production rate.

Beslenme hızının biyolojik dönüşüm performansı üzerinde Parra Paz ve ark. (2015) larva yoğunluğunun besleme hızından daha da büyük bir etkiye sahip olan kilit bir parametre olduğunu göstermiştir. Sebze ve meyve atıklarının inceleyerek, 1.2 larva cm⁻²'lik optimum larva yoğunluğunu önerdiler. Bununla birlikte, besleme hızı 95 mg larva-1 gün-1 (DW) altında olduğu sürece, 5 larva cm⁻² kadar yüksek bir larva yoğunluğu ile yüksek biyokütle üretiminin elde edilebileceğini belirlediler. Öte yandan, hem yüksek larva yoğunluğu (5 larva cm⁻²'nin üzerinde) hem de yüksek bir besleme oranının (95 mg larva-1 gün-1, DW üzerinde) kullanılmasının, hem atık azaltma hem de larva büyümesi açısından sistemin performansını azalttığını gözlemlediler. Bu durum asitliği, sıcaklıkları ve sızıntı suyu üretimini de arttırmıştır (Parra Paz ve ark. 2015). Dikkate alınması gereken bir diğer önemli husus da beslenme rejimidir. İlk olarak, sürekli ve kesikli rejimler arasında bir seçim yapılmalıdır. Sürekli bir sistemde larvalar ve atıklar, sadece dolu olduğunda boşaltılan bir kaba sürekli olarak eklenir. Diğerinde, bir kaba tanımlanmış miktarda atık ve larva eklenir, bu da larvalar olgunluğa ulaştığında toplanır (Dortmans ve ark. 2017). Baştan besleme ve sürekli besleme operasyonları karşılaştırıldığında (Mutafela (2015), baştan besleme tekniğinde atık azaltma, prepupa ağırlığı ve larva geliştirme süresi açısından daha iyi performanslar gözlemlenmiştir. Alvarez (2012) ve Dortmans ve diğ. (2017), sistemin bakımını basitleştirmek ve bir sorun olduğunda tüm sistemin çökmesini önlemek ve hastalık gibi riskleri izole etmek için bir BSF sisteminin parti modunda çalıştırılmasını tavsiye etti. Ayrıca, parti modunda, birkaç besleme rejimi ayırt edilebilir. Banks ve ark. (2014) larvaların her iki günde bir taze dışkı ile atık miktarının artırılarak beslendiği sistem ile larvaların besleme döneminin başında tüketmesi beklenen tüm atığın birden verildiği rejimi kıyasladılar. İkincisi larva büyümesi açısından daha iyi sonuçlar verirken, artan beslemeye kıyasla daha uzun gelişme süresi ile sonuçlandı. Atık azaltma miktarı ise iki beslenme rejimi arasında benzerdi (Banks ve ark. 2014). Atık tabakasının kalınlığı, larvaların yeterli miktarda oksijen temin etme kabiliyetini etkilediğinden bir başka önemli operasyonel parametredir. Atık katmanı çok kalınsa, durmadan kazma eğilimi gösteren larvalar, atık yığnında çok derine girdikçe oksijen eksikliğinden ölecektir. Ek olarak, anaerobik koşullar nedeniyle larvaların yaşayamayacağı atık yığnının alt

tabakası, larvalar tarafından işlenmeden kalacaktır. Bu bağlamda, Dortmunds ve ark. (2017), atık tabakasının 5 cm kalınlığını geçmemesi gerektiğini önerirken, Perednia (2016) ve Yang (2017), besleme stoğu için maksimum 7,5 cm derinlik önerdi. Atık katman kalınlığı, BSF tesisinde metrekafe başına işlenebilecek atık hacmini önemli ölçüde sınırlar ve daha fazla alan gereksinimi veya daha fazla tepsi kullanılması anlamına gelir, bu da potansiyel olarak daha emek yoğun bir süreçle sonuçlanır.

Bununla birlikte, Perednia (2016) çam talaşı veya ezilmiş odun kömürü gibi matris malzemelerinin kullanılmasının, BSF larvalarının atık yığını boyunca hareket etmesini ve böylece yaklaşık 100 hPa hava basıncında havalandırmasını sağlayarak, larvaların yaşaması için oksijen kaynağının yeterli olduğu maksimum derinliğin en az iki katı kadar, yaklaşık 7.5 cm ile 15 cm arasında olmasını sağlar. Bu da metrekafe başına atık işleme kapasitesinin en az iki katına çıkarılmasını sağlar. Buna ek olarak, Perednia (2016) larvalar için optimum oksijen tedarikini sağlamak amacıyla atık yığına havanın karıştırılmasını, döndürülmesini veya pompalanmasını önerdiler.

Ayrıca, bazı yazarlar BSF tarafından biyo-dönüşümün optimize edilmesi için mikroorganizmaların kullanımını araştırmıştır. Dortmunds ve diğ. (2017), larvaların atıkları asimile etmeleri için hücre yapılarının bozulması yoluyla besin maddelerini kullanılabilir hale getiren simbiyotik mikroorganizmaların potansiyel rolünü incelemiştir. Yu ve diğ. (2011), kanatlı gübresine eşlik eden bakteriler (B. subtilis strains S15, S16, S19 ve B. natto suşu D1) ile aşılmasının larva gelişimi üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bu dört Bacillus subtilis suşunun substrata eklenmesinin, daha kısa sürede daha büyük larvalar üretildiği için larva gelişimini arttırdığını bildirmişlerdir (Yu ve ark. 2011). Yu ve ark. (2011), Zheng ve ark. (2012a), pirinç samanı ve restoran atıklarının BSF ve bakteriler tarafından ortak dönüşümünü test etmiştir (Rid-X). BSF'nin Rid-X bakterileri ile birleştirilmesinin selüloz ve hemiselülozun BSF tarafından geliştirme için kullanılan lignin degradasyonunun yanı sıra şekere dönüşümünü arttırdığını bildirdiler. Ek olarak, Rid-X bakterileri daha fazla besin maddesi hazırlayarak BSF larvalarının besin kullanımını ve bu besinlerin biyokütlesine dahil edilmesini teşvik ederek daha büyük biyokütle üretimi sağladı. BSF tarafından protein kullanımı, substrata Rid-X bakterileri eklenerek % 74'ten % 92'ye yükseltildi. Zheng ve diğ. (2012a), BSF'nin işleme konusunda daha zor olduğu lignoselülozik malzemelerin dönüştürülmesinde BSF'ye yardımcı olmak için mikroorganizmaların kullanılmasını özellikle tavsiye etmiştir.

3.3.2 Operasyonel Tasarımlar

Arıtma ünitesinde, işlenecek atıklar tipik olarak, atık ayrıştırma sürecini hızlı bir şekilde başlatmak için yetiştirme biriminden küçük larvaların ilave edildiği kaplara yerleştirilir. Literatürde bildirildiği gibi, bunlar genellikle plastikten (Tomberlin ve ark. 2002; Lalander ve ark. 2015; Mutafela 2015; Dortmunds ve ark. 2017), metalden (Diener ve ark. 2011; Devic 2014) veya betondan yapılmıştır. (Newton ve diğerleri 2005; Caruso ve diğerleri 2013; Popoff ve Maquart 2016a, 2016b). Literatürde çok çeşitli hacimlere, yani 40 ila 400 L'ye sahip kaplar bildirilmiştir (Diener ve ark. 2011; Caruso ve ark. 2013; Lalander ve ark. 2015; Charlton ve ark. 2015; Mutafela 2015; Popoff ve Maquart 2016b;

Dortmans ve diğerleri 2017). Tipik olarak, operatörler tarafından idare edilebilen ayrı ayrı kaplardan (Diener ve ark.2011; Lalander ve ark.2015; Dortmans ve ark.2017) veya daha büyük havzalara kadar farklı teknikler kullanılmıştır (Newton ve ark.2005; Caruso ve ark.2013; Popoff ve Maquart 2016a, 2016b). Bununla birlikte, Dortmans ve ark. (2017) çok büyük kaplardan kaçınılmasını önerdi, böylece bir problem ortaya çıktığında risk bölüştürüldü.

Buna ek olarak, yerden tasarruf etmek için, birkaç yazar, havanın akışını sağlamak veya havalandırmayı dikey raflara yerleştirmek için aralarında havalandırma çerçeveleri bulunan tek tek kapları birbiri üzerine istifleyerek dikey alandan yararlanmayı önermektedir (Popoff ve Maquart 2016a, 2016b; Dortmans et ark.2017; Zurbrügg ve ark.2018). Çoğu kaplar dikdörtgen biçimindedir, ancak Caruso ve ark. (2013) dairesel havzalar kullanan bir Endonezya BSF tesisini tarif etmişlerdir. Ek olarak, bazı yazarlar, sıvının toplanmasını ve anaerobik koşullar yaratmasını önlemek için, konteynırları, genellikle bir musluğa giden plastik bir borudan oluşan bir drenaj sistemi ile doldurduklarını bildirmişlerdir (Diener vd. 2011; Mutafela 2015). Literatür ayrıca, eşekarısı gibi böceklerin veya süreci bozabilecek kertenkeleler gibi yırtıcıların istilasını önlemek için çeşitli sistemler önerdiler. Diğer böcekleri yakalamak için, yazarlar raf ayaklarına kovaların kullanılmasını (Diener ve ark. 2009b; Dortmans ve ark. 2017) veya tesisi çevreleyen beton bir kanal inşa etmeyi önermişlerdir (Popoff ve Maquart 2016b). Onları su ve birkaç damla sıvı deterjan veya yağ ile doldurmak, su yüzey geriliminin azalmasını ve böylece böceklerin boğulmasını sağlayacaktır (Diener ve ark. 2009b; Popoff ve Maquart 2016b; Dortmans ve ark. 2017). Popoff ve Maquart (2016b) ayrıca atık arıtma ünitesini izole etmek için çift kaplı sistemlerin kullanılmasını önerdiler.

3.3.3 Atık Arıtma Ünitesinin Performansının İzlenmesi

Literatürde sistemin performansını değerlendirmek için yaygın olarak kullanılan parametre atık azaltma oranıdır (Diener ve ark. 2009b, 2011; Banks ve ark. 2014; Lalander ve ark. 2015; Dortmans ve ark. 2017 ; Lohri ve ark. 2017; Lalander ve ark.2019), biyolojik dönüşüm oranı (Banks ve ark. 2014; Lalander ve ark.2015; Lohri ve ark.2017; Dortmans ve ark.2017; Lalander ve ark.2019), ortalama larva / prepupal ağırlık (Cicková ve ark.2015; Lalander ve ark.2019), larva gelişme süresi (Diener ve ark. 2009b; Cicková ve ark.2015; Lohri ve ark.2017) ve yem / gıda dönüşüm oranı (FCR) (Diener ve ark.2011; Caruso ve ark.2013; Banks ve ark.2014) kullandılar. Bir BSF sisteminin performansı, işlenmekte olan atık türüne bağlı olduğundan, literatürde kullanılan ana performans göstergeleri için değerler, Tablo 7 Ürün Toplama ve Arıtma Sonrası'nda farklı hammaddeler için sunulmuştur.

TABLE 7. BIOCONVERSION PERFORMANCE FOR DIFFERENT FEEDSTOCKS.

Feedstock	Waste reduction ^a (%)	Mean final larval weight ^b (mg)	Larval development time ^c (days)	Bioconversion rate ^d (%)	Food conversion ratio ^e	References
Pig manure	56 (DW)	113 (WW)	25-46	4 (DW)	10 (DW)	Newton et al. 2005; Nguyen et al. 2013; Banks et al. 2014
Dairy manure	33-58 (DW)	137-179 (WW)	26-30	2-4 ^f (DW)	-	Myers et al. 2008
Chicken manure	50 (WW)	220 (WW)	-	4 (WW)	13 (WW)	Sheppard et al. 1994; Banks et al. 2014
Dairy manure and chicken manure	43-55 (DW)	60-100 (WW)	18-22	4-10 (DW)	6-10 (DW)	Rehman et al. 2017a
Human feces	25-55 (WW)	194-315 (WW)	-	2-22 (WW)	2-16 (WW)	Banks et al. 2014
MSW	66-79 (DW)	138-220 (WW)	-	12 (DW)	15 (DW)	Diener et al. 2011; Banks et al. 2014
Kitchen waste	-	173 (WW)	20-33	-	-	Nguyen et al. 2013
Restaurant waste	-	154 (WW)	19	-	-	Spranghers et al. 2017
Fruit and vegetables	43-64 (DW)	123 (WW)	22-40	-	-	Nguyen et al. 2013; Sarag and Bagastyo 2015
Vegetable waste	-	140 (WW)	16	-	-	Spranghers et al. 2017
Fish waste	19-54 (DW)	143 (WW)	20-36	-	-	Nguyen et al. 2013; Sarag and Bagastyo 2015
Overall range	19-79	60-315	16-46	2-22	2-16	

^a Weight percentage of the initial waste added that is reduced over the feeding period.

^b Mean weight of oncomiaria at the end of the feeding period.

^c Time required for the juvenile larvae to reach the prepupal stage.

^d Weight percentage of waste added that is converted into larval biomass. It indicates how many kilograms (kg) of mature larvae can be obtained from 100 kg of waste.

^e Ratio of the weight of feed ingested and weight gained by the larvae over the feeding period. It measures the efficiency of the larvae to convert the feed ingested into body mass.

^f Value obtained by using an equation: Dry feed intake (g) divided by Wet weight gain (g)

Note: DW: dry weight; WW: wet weight.

3.4 Ürün Toplama ve Arıtma

BSF prosesi, olgun BSF larvaları ve özellikleri, uygulamaları ve arıtma sonrası işlemleri aşağıdaki bölümlerde açıklanan ve Tablo 8'de özetlenen iki ana ürün verir;

TABLE 8. BSF PRODUCTS' PROPERTIES AND APPLICATIONS.

	Mature BSF larvae	Waste residue
Yield	40-118 kg of larvae tonne of waste ⁻¹ (DW basis) Typically, 200 kg (WW) of larvae tonne of waste ⁻¹	210-810 kg of waste residue tonne of waste ⁻¹ (DW)
Properties	High protein (40% DW) and lipid content (35% DW). Relatively rich in Ca, P and K. Main fatty acids: lauric acid, palmitic acid and oleic acid. Main essential amino acids: lysine, valine and leucine.	The waste residue contains nutrients, including increased concentrations of ammonium nitrogen. The residual C/N ratio depends on the initial C/N ratio of the input waste. pH between 7 and 8. Compost obtained is immature.
Safety	The levels of most chemical contaminants are lower than those recommended. The only chemical risk identified pertains to the bioaccumulation of cadmium in larvae. There is also a risk of presence of pathogens in larvae reared on animal or human waste despite the antibacterial properties of the larvae.	BSF waste treatment removes, in animal and human waste, bacteria from the Enterobacteriaceae family (<i>Salmonella</i> spp. and <i>E. coli</i>) under sufficient temperature (27-32 °C) and alkaline conditions but has no effect on the destruction of other pathogens such as <i>Enterococcus</i> spp., bacteriophage or <i>Ascaris suum</i> ova. BSF treatment also accelerates the degradation of different types of pharmaceuticals and pesticides in the waste.
Applications	The main application for BSF larvae is their use as feed ingredients for monogastric animals. The oil extracted from the larvae can also be used to produce biodiesel and the chitin contained in the exoskeleton of the larvae can be sold as a chelating agent.	Fertilizer
Post-treatment	Sanitization (e.g. boiling), drying, lipid extraction, etc.	Thermophilic composting or vermicomposting or anaerobic digestion
References	Hale 1973; Newton et al. 1977, 2005; Bondari and Sheppard 1981, 1987; Erickson et al. 2004; St-Hilaire et al. 2007a, 2007b; Diener 2010; Diener et al. 2011, 2015b; Li et al. 2011b; Sealey et al. 2011; Zheng et al. 2012a, 2012b; Caruso et al. 2013; Finke 2013; Lalander et al. 2013, 2016; Banks et al. 2014; Lock et al. 2014; Makkar et al. 2014; Charlton et al. 2015; Leong et al. 2015, 2016; Park et al. 2015; Tran et al. 2015; Cummins Jr. et al. 2017; Devic et al. 2017; Dortmans et al. 2017; Gao et al. 2017; Liu et al. 2017; Rehman et al. 2017a; Liland et al. 2017; Schiavone et al. 2017; Spranghers et al. 2017; Zurbrugg et al. 2018	Erickson et al. 2004; Newton et al. 2005; Liu et al. 2008; Choi et al. 2009; Diener et al. 2011; Green and Popa 2012; Lalander et al. 2013, 2015, 2016; Banks et al. 2014; Adeku 2015; Dortmans 2015; Saragi and Bagastyo 2015; Murray 2016; Dortmans et al. 2017; Lohri et al. 2017; Quilliam et al. 2017; Rehman et al. 2017a

Note: Ca = calcium; P = phosphorus; K = potassium.

3.4.1 Ürün Verimi

Ürün verimleri, işlenmekte olan atık türüne bağlı olarak önemli ölçüde değişir. Genel olarak, literatürde olgun larvalar ve atık kalıntıları için rapor edilen verim değerleri, kuru bazda sırasıyla 40 ila 118 kg larva /ton(atık) ve 210 ila 810 kg atık kalıntısı/ton(atık)-Kuru madde üzerinden hesaplanmıştır. (Newton ve ark. 2005; Myers ve diğerleri 2008; Diener ve diğerleri 2011; Nguyen ve diğerleri 2013; Banks ve diğerleri 2014; Saragi ve Bagastyo 2015; Rehman ve diğerleri 2017a). Farklı hammaddeler

için olgunlaşmış larvaların ve atık kalıntılarının verimleri sırasıyla Tablo 7'de sunulan biyolojik dönüşüm ve atık azaltma oranlarından çıkarılabilir.

3.4.2 Hasat Teknikleri

BSF'yi atık kalıntısından ayırmak için kullanılan teknik, hasat edildiği aşamaya, yani larva veya prepupa aşamasında yapılmasına bağlıdır. Hasat prepupal aşamada gerçekleştirildiğinde, literatürde bildirilen en yaygın yöntem kendi kendine hasattır, yani bir pupa yeri bulmak için doğal olarak atıktan göç eden prepupalar, tipik olarak bir rampa aracılığıyla, belirli bir konuma yönlendirilerek hasat edilebilir (Diener ve ark. 2011; Mutafela 2015; Popoff ve Maquart 2016a). Kendi kendine hasat yapmanın avantajı, basit ve emek yoğun olmayan bir yöntem olmasıdır. Öte yandan, larvaları prepupalara dönüşmeden önce hasat etmek için manuel bir elek veya otomatik çalkalamalı bir elek kullanılır (Popoff ve Maquart 2016a; Cheng ve diğerleri 2017; Dortmans ve diğerleri 2017). Dortmans ve diğ. (2017) manuel eleme için 3 milimetre (mm) ve otomatik eleme için 5 mm'lik bir elek gözü boyutu önerilmiştir. Cheng ve diğ. (2017) larvaların, başlangıç nem içeriği% 80'in (ıslak baz) altında olan gıda atığı kalıntısından 2.36 mm'lik manuel bir elek kullanılarak hasat edilebileceğini göstermiştir. Öte yandan, atığın başlangıçtaki nem içeriği% 80'in (ıslak bazda) üzerindeyse, ufalanan bir kalıntı yerine, işlenmemiş parçalara sahip bir bulamaç şeklinde olacaktır (Cheng ve ark. 2017 ; Dortmans ve diğerleri 2017). Bu durumda, güneş ışığından kaçınmak isteyen larvalar ve sıvı üzerine yerleştirildiği elekten süzülerek altına yerleştirilecek kaba dökülecektir. Bu eleme yöntemi için İşlenmemiş parçaların üstte kalacağı 5 mm'lik bir göz aralığına sahip sallanmayan düz eleklerin kullanılmasını önerilmiştir. Ağdan toplama kabına düşen larvalar daha sonra bir süzgeç kaşığı kullanılarak sıvıdan toplanabilir (Dortmans ve ark. 2017).

3.4.3 Hasat Sonrası BSF Larvaları

Hasat edilen larvaların daha fazla işlenmesi genellikle sanitasyon, depolama ve taşıma amacıyla gereklidir (Zurbrügg ve ark.2018). Dezenfeksiyon, larvaları yaklaşık iki dakika kaynar suya yerleştirerek elde edilebilir, bu da larva üzerindeki bakterileri öldürür ve bağırsaklarını boşaltmalarını sağlar (Dortmans ve ark. 2017). Alternatif olarak, Charlton ve ark. (2015) larvaları suyla yıkamayı ve bağırsaklarını boşaltmaları için gece boyunca talaşa koymalarını önerdi. Daha sonra pazar talebine bağlı olarak larvalar da dondurulabilir veya kurutulabilir (Dortmans ve ark. 2017). Kurutma özellikle enerji yoğun olduğu ve ürünü daha fazla dezenfekte ettiği için önemlidir (Lalander ve ark. 2013). Ek olarak, prepupaların kuru madde içeriği oldukça yüksek olduğundan (% 30 ila 45), bunların kurutulması diğer taze yan ürünlere kıyasla daha kolay ve daha az maliyetli olabilir (Newton ve ark. 2008; Makkar ve ark. 2014; Tran ve ark.2015). Dortmans ve diğ. (2017), larvaların nem içeriği% 10'un altına düşene kadar kurutulmasını ve böylece verimli bir şekilde depolanmasını tavsiye etmişlerdir. Yağ içeriği de depolama için düşük tutulmalıdır (Zurbrügg ve ark.2018).

Charlton ve diğ. (2015) larvaların iki saat boyunca 60 ila 80 ° C'de gaz ile ısıtılan bir fırına yerleştirilmesini önermiştir. Alternatif olarak, güneşte kurutma özellikle düşük gelirli ve tropik ülkelere uyarlanmış düşük maliyetli ve enerji tasarruflu bir çözümdür. Caruso ve diğ. Endonezya'da BSF larvalarını güneşte kurutmak için bambu sepetler kullanan (2013), 2.000 lux'ten daha yüksek bir ışık yoğunluğu altında 38 ° C'lik bir sıcaklığın ve yaklaşık % 50 hava neminin olduğu bir ortamda, 17 saat güneş altında bırakıldığında %95 oranında kuruduğunu tespit etti. Caruso ve diğ. (2013), BSF prepupalarını kurutmak için küçük bir elektrikli ısıtıcı ve kapalı bir ahşap yapıdan oluşan el yapımı bir fırın da tasarladı. Başka bir yöntem, larvaların lipitlerini proteinlerden ayırmaktır (Schiavone ve ark. 2017). Literatürde yağ ekstraksiyonu (veya yağsızlaştırma) için iki ana teknik, yani bir çözücü olarak petrol eteri ile kimyasal ekstraksiyon (Li ve diğ. 2011a; Zheng ve diğ. 2012a; Surendra ve diğ. 2016) ve mekanik ekstraksiyon kullanılmıştır. Yağdan arındırma işleminden sonra, ekstrakte edilen yağ, bir hayvan yemi bileşeni olarak kullanılabilir veya biyodizele dönüştürülebilir (Li ve ark. 2011b; Zheng ve ark. 2012a, 2012b).

Atık Kalıntısı

Tercihen bir olgunlaşma aşamasından geçtikten sonra kompost olarak kullanılabilir (Dortmans 2015; Lohri ve ark.2017; Dortmans ve ark.2017). Bu, tortu hacminin yanı sıra fitotoksisite ve patojen içeriğinin azaltılmasını sağlayan termofilik aerobik kompostlama ile başarılabılır (Dortmans 2015). Diğer bir seçenek, tortuyu vermikompostlama için bir substrat olarak kullanmaktır (Dortmans ve ark. 2017). Newton ve diğ. (2005) sonuçları, domuz gübresinin BSF işleminden elde edilen tortunun vermikompostlama için uygun bir substrat olduğunu göstermiştir. Atık kalıntısı yüksek nem içeriğine ve uygun bir C / N oranına (tipik olarak 16 ila 25) sahipse, anaerobik sindirim yoluyla biyogaz üretimi için de kullanılabilir (Dortmans ve ark. 2017; Lohri ve ark. 2017).

4. Ürünler: Özellikleri ve Uygulamaları

4.1 BSF Larvaları

4.1.1 BSF Larvalarının özellikleri

BSF larvalarının kimyasal içeriğinin özellikleri, bir gıda kaynağı olarak kullanılan atığın türüne ve hasat edildikleri aşamaya bağlı olarak değişir (Spranghers et al. 2017; Liland ve ark. 2017; Liu ve diğerleri 2017). Şekil 3, olgun BSF larvalarının ortalama kompozisyonunu gösterirken, Tablo 9, çeşitli çalışmalar tarafından bildirilen değerlere dayanarak, olgun BSF larvalarının ana besin özelliklerinin daha ayrıntılı bir analizini sunar.

FIGURE 3. AVERAGE COMPOSITION OF A MATURE BSF LARVA (% DM) (BASED ON DATA PROVIDED IN TABLE 9).

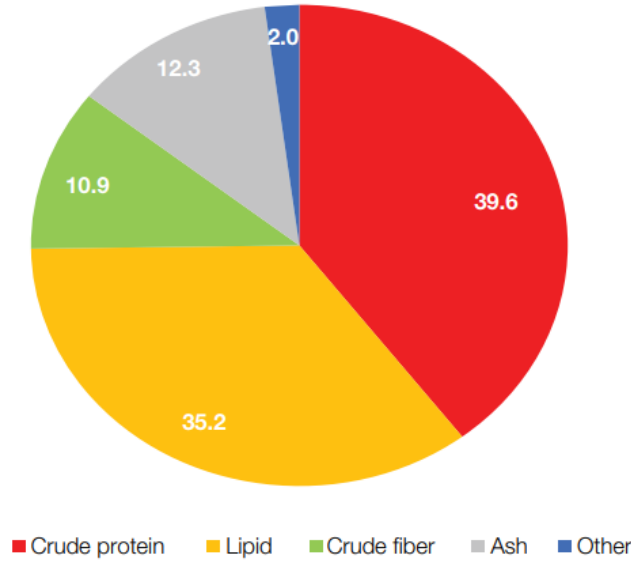


TABLE 9. GENERAL COMPOSITION OF MATURE BSF LARVAE.

Main components	Average value	Minimum value	Maximum value	Standard deviation	Number of studies reviewed
Crude protein (% DM)	39.6	35.0	43.6	2.7	8
Lipid (% DM)	35.2	13.9	49.0	9.5	7
Crude fiber (% DM)	10.9	7.0	24.4	6.7	3
Ash (% DM)	12.3	2.7	25.7	6.6	7
Dry matter of the fresh larva (% WW)	38.6	31.1	44.0	4.8	3
Chitin (% DM)	6.5	4.5	8.7	1.7	3
Gross energy (MJ kg ⁻¹ DM)	22.1	-	-	-	2

Sources: Based on data provided by Newton et al. 1977, 2008; Arango Gutiérrez et al. 2004; Barry 2004; St-Hilaire et al. 2007b; Diener et al. 2009b; Caruso et al. 2013; Makkar et al. 2014; Tran et al. 2015; Spranghers et al. 2017; Liland et al. 2017; Liu et al. 2017.

DM: Dry Matter; WW: Wet Weight

BSF larvalarının yüksek protein ve yağ içeriği sergilediği bildirilmektedir (Banks 2014; Makkar ve diğerleri 2014; Tran ve diğerleri 2015; Liu ve diğerleri 2017). Tablo 9'da gösterildiği gibi, bunlar yaklaşık% 35 ila 44 DM: Ham proteinin Kuru Maddesinden oluşur. Lipid içeriği, larvaların beslendiği

atığa ve lipit profiline bağlı olarak% 14 ila 49 DM arasında değişir (bakınız Tablo 9) (Makkar ve ark.2014; Tran ve ark.2015; Liland ve ark.2017). Literatürde çeşitli hammaddeler için rapor edilen lipit içeriği değerleri Tablo 10'da sunulmaktadır. 2005; St-Hilaire ve ark. 2007b; Caruso ve ark.2013; Makkar ve ark.2014; Spranghers ve ark.2017). BSF larvalarının yağ asidi profili, hammaddenin yağ asidi profiline bağlıdır (Tran ve ark.2015; Liland ve ark.2017). Literatürde bazı genel eğilimler vurgulanmıştır. Leong ve diğ. (2015) ve Spranghers ve diğ. (2017), BSF larvalarının yağ asidi profilinin, besleme stoğuna bağlı olarak, BSF larvalarındaki toplam lipid ağırlığının yaklaşık% 65 ila 90'ını (DM bazında) temsil eden doymuş yağ asitlerinden oluştuğunu bildirmiştir. Ek olarak, BSF lipit profilindeki en bol yağ asitlerinin laurik asit (C12: 0), palmitik asit (C16: 0) ve oleik asit (C18: 1n9c) (St-Hilaire ve ark. 2007a; Caruso et al.2013; Finke 2013; Leong et al.2015, 2016; Spranghers et al.2017))olduğu bildirilmektedir. Tablo 11, farklı hammaddeler için literatürde bu üç yağ asidi için rapor edilen oranları göstermektedir.

TABLE 10. LIPID CONTENT OF BSF LARVAE OBTAINED FROM DIFFERENT FEEDSTOCKS.

Waste type	Lipid content (% DM)	References
Poultry manure	14-35	Bondari and Sheppard 1981; Sheppard et al. 1994; Arango Gutiérrez et al. 2004
Pig manure	28-36	Newton et al. 2005
Cattle manure	35	Newton et al. 1977
Fruit waste	42-44	Leong et al. 2015; Mutafela 2015
Vegetable waste	37	Spranghers et al. 2017
Restaurant waste	39	Spranghers et al. 2017
Oil-rich food waste	42-49	Barry 2004
Sewage sludge	30	Leong et al. 2015
Palm kernel meal	33-43	Caruso et al. 2013
Palm decanter cake	37	Leong et al. 2015

TABLE 11. PROPORTIONS OF SELECTED FATTY ACIDS IN BSF LARVAE FOR DIFFERENT FEEDSTOCKS.

Feedstock	Lauric acid (C12:0)*	Palmitic acid (C16:0)*	Oleic acid (C18:1n9c)*	References
Cow manure	21-36	16	24-32	St-Hilaire et al. 2007a; Li et al. 2011a, 2011b
50% fish offal and 50% cow manure	43	11	12	St-Hilaire et al. 2007a
Fruit waste	76	-	-	Leong et al. 2015, 2016
Vegetable waste	61	9	6	Spranghers et al. 2017
Restaurant waste	58	10	8	Spranghers et al. 2017
Palm decanter	48	25	16	Leong et al. 2016

* Values are presented as weight percentage of the total lipid, on a DM basis.

Mineral bileşimi ile ilgili olarak, BSF larvaları kalsiyum (9 ila 86 g kg-1DM), fosfor (4 ila 5 g kg-1DM) ve potasyum (5 ila 6 g kg-1 DM) bakımından nispeten zengindir (Newton ve ark. 1977; Finke 2013; Makkar ve ark.2014; Spranghers ve ark.2017). Esansiyel amino asit profiline gelince, BSF larvaları özellikle lizin, valin ve lösin bakımından zengindir (Finke 2013; Makkar ve diğerleri 2014; Tran ve diğerleri 2015; Spranghers ve diğerleri 2017; Liland ve diğerleri 2017).

Bazı yazarlar, diyetleri yoluyla BSF larvalarının besin içeriğinin nasıl geliştirileceğini araştırdı. Bu bağlamda, St-Hilaire ve ark. (2007a) BSF larvalarının diyetinde süt ineği gübresinin balık sakatatu ile birleştirilmesinin, sadece süt ineği gübresi ile beslenen larvalara kıyasla omega 3 yağ asidi bakımından

daha zengin larvalar geliştirdiğini bildirmiştir. Ayrıca larvaların diyetine deniz yosununun dahil edilmesinin, EPA (omega 3 yağ asidi), iyot ve E vitamini gibi değerli besin maddeleri açısından biyokütle yi zenginleştirdiğini belirttiler (Liland ve diğ. 2017). Ayrıca Mohd-Noor ve ark. (2017), hindistancevizi sütü ekstraksiyonundan gelen atıkların dört hafta boyunca fermente edilmesinin, BSF larvalarının protein ve yağ içeriğini iyileştirdiğini gözlemlemişlerdir.

4.1.2 BSF Larvalarının Hayvan Yemi Olarak Kullanımı

BSF larvalarının yüksek protein ve yağ içeriği, hayvan yemi olarak potansiyel kullanımını desteklemektedir. Bu durum larvaları, hayvancılıkta geleneksel yem olarak kullanılan sürdürülemez ve gittikçe pahalı olan soya fasulyesinin küspesi ve unu için ilginç bir alternatif haline getirmektedir (Diener 2010; Spranghers ve ark. 2017; Surendra ve ark. 2016). Çeşitli alışmalar BSF prepupaları ile hayvan besleme konusunda umut verici sonuçlar göstermiştir. Kısmen veya tamamen geleneksel yemlerin BSF larvaları ile ikame edilmesi, kanal cat-sh (*Ictalurus punctatus*) gibi balıklar dahil çeşitli monogastrik hayvan türleri için büyüme ve kalite açısından tatmin edici sonuçlar vermiştir. Mavi tilapia (*Oreochromis aureus*), Nil tilapia (*Oreochromis niloticus*), gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), Atlantik somonu (*Salmo salar*) ve Paci beyaz karidesi (*Litopenaeus vannamei*) gibi kabuklular ve domuzlar ve tavuklar için de sonuçlar gayet iyidir. Ancak Makkar ve ark. (2014) bazı çalışmalarda büyüme performansının düştüğünü ve sonuçların larvaları beslemek için kullanılan besleme stoğunun türüne bağlı olduğu için ek besleme deneyleri yapılmasını önermişlerdir (Spranghers ve ark. 2017). Literatür ayrıca larva bazlı yem formülasyonunun, özellikle protein, yağ ve fiber oranının iyileştirilmesi ihtiyacını vurgulamaktadır (Diener 2010; Newton ve ark.2008). Bu bağlamda, birkaç yazar, proteinin, yağdan ve kitinden ayrılmasının daha dengeli bir diyetin formülasyonuna izin vereceğini ve larvaların sindirilebilirliğini ve besleme değerini artıracakını, yani yağsız larvaların karşılaştırıldığında yaklaşık% 60 daha yüksek bir protein içeriği sergilediğini öne sürdü. Başka bir konu, larvaların hayvan yemi olarak toplanması için en uygun aşama ile ilgilidir. Bazı yazarlar, larvaların prepupal aşamaya ulaşmadan önce hasat edilmesinin daha yüksek değerli bir yem ürünü verebileceğini öne sürmüşlerdir (Popoff ve Maquart 2016a; Dortmans ve ark. 2017). Liu ve diğ. (2017), yaşam döngüsü boyunca BSF'nin besin içeriğinin evrimini analiz eden ham protein ve yağ içeriğinin erken prepupa aşamasında en yüksek seviyelere ulaştığını gözlemlemiştir. Bununla birlikte, besin değeri sindirilebilirlik ile ölçülür. Prepupaların aslında larvalardan daha yüksek kitin içeriği vardır ve bu da onları tavuklar ve balıklar için daha az sindirilebilir kılar (Caruso ve ark.2013; Dortmans ve ark.2017). Bu nedenle, beslenme denemeleri yapan bazı yazarlar, prepupal aşamaya ulaşmamış olgun larvaları kullanırken (Bondari ve Sheppard 1987; Devic ve ark. 2017), diğerleri prepupa kullandılar (Newton ve ark.2005; St-Hilaire et 2007b) .Charlton ve diğ. (2015). Hayvan yemi için bir protein kaynağı olarak BSF larvalarının kullanılmasının kimyasal güvenliğini araştıran, veteriner ilaçları, böcek ilaçları, ağır metaller, dioksinler, poliklorlu bifeniller dahil olmak üzere çok

çeşitli kimyasal kirleticilerin (analiz edilen 1.140 bileşik) seviyesini ölçtü (tarımsal sanayi atıklarına dayanan BSF larvalarındaki poliaromatik hidrokarbonlar ve mikotoksinler). Kaydedilen tüm konsantrasyonların Avrupa Komisyonu, Dünya Sağlık Örgütü ve Kodeks Alimentarius da dahil olmak üzere kuruluşlar tarafından önerilen maksimum seviyelerden düşük olduğu bildirildi (Bkz. Tablo 12). Bununla birlikte, metallerin, özellikle larvalardaki kadmiyumun potansiyel biyolojik birikimi riskine karşı uyardılar. Çalışmalar, metale bağlı olarak farklı birikim modelleri ile birlikte ağır metallerin larvalarda birikebileceğini göstermiştir. BSF larvalarını kontamine substratlarla beslerken, ilk besleme stoğundakilere kıyasla larva ve prepupa gövdesinde kaydedilen ağır metal konsantrasyonları kadmiyum için daha yüksektir, çinko için aynıdır, krom için daha düşük ve kurşun için sıfırdır (Diener et al. 2015b; Gao ve ark.2017). Bu nedenle, Lohri ve ark. (2017), BSF atık arıtımında ağır metaller tarafından kontamine olmuş atıkların hammadde olarak kullanılmamasını önermektedir. Farmasötikler ve böcek ilaçları ile ilgili olarak, Charlton ve ark. (2015), Lalander ve ark. (2016), farklı ilaçlar ve böcek ilaçları içeren atıklarla beslenen BSF larvalarında biyolojik birikim gözlemlenmiştir.

TABLE 12. RECOMMENDED STANDARDS FOR SELECTED CHEMICAL CONTAMINANTS.

Chemical contaminants	Maximum level	References
Heavy metals^a		
Arsenic	2 mg kg ⁻¹ (or ppm)	
Cadmium	2 mg kg ⁻¹ (ppm)	
Fluorine	500 mg kg ⁻¹ (ppm)	EC Directive 2002/32/EC
Lead	10 mg kg ⁻¹ (ppm)	
Mercury	0.1 mg kg ⁻¹ (ppm)	
Dioxins, polychlorinated biphenyls (PCB) and polyaromatic hydrocarbons (PAH)		
PCB ICES-6 ^b	10 µg kg ⁻¹	EC Directive 2002/32/EC amendment 277/2012/EC
WHO-TEF ^c	0.75 ng kg ⁻¹	EC Directive 2002/32/EC
PAH4	1-35 µg kg ⁻¹	EC regulation 1881/2006 amendment 835/2011

^a For a moisture content of 12%.

^b ICES-6 is a set of 6 PCBs, namely PCB28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153 and PCB180.

^c World Health Organization toxic equivalency factor (TEF).

Mikrobiyolojik risklere gelince, Zheng ve ark. Pyrosequencing kullanarak BSF yaşam döngüsü boyunca bakteri çeşitliliğini araştıran (2013b), altı farklı filumdan bakterilerin varlığını incelemiş, Bakteroidetes ve Proteobakterilerin tanımlanmış bakterilerin üçte ikisini oluşturdukları için en yüksek temsil oranına sahip olduğunu gözlemlenmiştir. Tüm BSF yaşam döngüsü boyunca mevcut olan bakteriler arasında Enterobacteriales ve Xanthomonadales'i potansiyel patojenler olarak tanımladılar. Ek olarak, BSF larvaları; işlenen atıkta bulunan bazı patojenler tarafından kontamine edilebilir. Özellikle, kontamine hayvan ve insan dışkısına maruz kalan larvalarda Salmonella spp. bulundu. Erickson ve ark. (2004) ve Lalander ve diğ. (2013). Lalander ve diğ. (2013) larva ve prepupaların içinde Ascaris suumova'nın bulunduğunu bildirmiştir. Bununla birlikte, bu organizmaların konsantrasyonunun, prepupanın bağırsağında larvaların bağırsağından daha düşük olduğunu gözlemlenildi, bu da prepupaların pupa bölgelerine göç etmeden önce bağırsaklarını boşalttıklarını düşündürmektedir. Bu nedenle, hayvan yemi olarak larva yerine prepupa kullanmak daha güvenli olabilir. Bitki patojenleri ile ilgili olarak, Park ve ark. (2015), BSF'den elde edilen larva ekstraktının

antibakteriyel özelliklerini analiz ederek larva ekstraktının bitki patojenlerine karşı savunmada da önemli bir rol oynadığını tespit etmişlerdir. Bununla birlikte, Charlton ve ark. BSF larvalarının hayvan yemi olarak kullanılması ile ilişkili mikrobiyolojik risklerin uygun işleme teknikleri ile önemli ölçüde azaltılabileceğini belirtmiştir (bkz. Bölüm 3.4.3).

4.1.3 Biyodizel Üretimi

BSF larvalarının yağından biyodizel üretimi de araştırılmaktadır. Tablo 13, farklı hammaddeler için elde edilen biyodizel verimlerini göstermektedir.

Newton ve diğ. (2005) domuz gübresi ile beslenen BSF larvalarının yağından biyodizel üretiminin, aynı gübrenin anaerobik sindirimi kadar enerji üreteceğini öne sürmüşlerdir. Ayrıca, hayvan gübresi ile beslenen BSF larvalarının lipitlerinden üretilen biyodizelin yakıt özellikleri, kolza yağı bazlı biyodizel gibi diğer biyodizellerle karşılaştırılabilir niteliktedir (Li ve ark. 2011b). Ek olarak, piringç samanı ve restoran atığı ile beslenen BSF larvalarından üretilen biyodizeller, EN 14214 Avrupa standardının çoğu kriterini karşılamaktadır (Zheng ve ark. 2012a, 2012b). BSF larvalarının yağ bazlı biyodizelinin yakıt özellikleri, kolza tohumu yağı bazlı biyodizelin yakıt özellikleri ile karşılaştırılmaktadır. (Tablo 14)

TABLE 13. BIODIESEL YIELDS OBTAINED FOR DIFFERENT FEEDSTOCKS (1,000 BSF LARVAE PER KG WASTE).

Feedstock	Biodiesel (mg per larvae)	References
Cattle manure	35.6	Li et al. 2011b
Pig manure	57.8	Li et al. 2011b
Chicken manure	91.4	Li et al. 2011b
Restaurant waste	23.6	Zheng et al. 2012b
Mixture of rice straw (30%) and restaurant waste (70%)	21.9	Zheng et al. 2012a

TABLE 14. FUEL PROPERTIES OF THE BIODIESEL PRODUCED FROM BSF LARVAE'S LIPIDS.

Fuel properties	EN 14214 standard	BSF larvae's fat- based biodiesel*	Rapeseed oil- based biodiesel	References
Density (kg m ⁻³)	860-900	860-895	880-911	
Viscosity at 40 °C (mm ² s ⁻¹)	3.5-5.0	4.9-6.0	4.4-5.8	
Ester content (%)	> 96.5	96.5-97.2	-	Li et al. 2011b; Zheng et al. 2012a, 2012b
Flash point (°C)	> 120	123-128	-	
Cetane number	> 51	53-58	45	

* Range of values for BSF larvae fed on animal manure, restaurant waste and rice straw.

4.1.4 Chitin Üretimi

Hayvan besleme ve biyodizel üretimi için yararlanılabilen BSF larvalarının yüksek protein ve lipit içeriğinin yanı sıra, başka bir değerli ürün larvaların kütikül veya dış iskeletinin ana bileşeni olan kitindir. Ticari bir bakış açısından, kitin ilginç bir bileşiktir çünkü sentetik selüloza kıyasla yüksek bir azot içeriğine(% 6.9) sahiptir (Diener 2010; Caruso ve ark.2013). İlaçlar, kozmetikler, biyoteknoloji, bitki sağlığı ve endüstriyel ürünlerde şelatlayıcı ajan olarak kullanılabilir (Kumar 2000; Caruso ve ark.2013; Younes ve Rinaudo 2015). BSF larvalarından kitin çıkarılması ve belirli pazarlarda satılması larvalardan elde edilen ekonomik değeri artırabilir. Bununla birlikte, BSF larvalarından kitinin çıkarılmasının ekonomik fizibilitesi henüz araştırılmamıştır (Diener 2010). Literatürde BSF larvalarından kitin üretimi için beklenebilecek verim tartışılmadığından, BSF larvalarının ana ticari kaynakları olan yengeç ve karides kabuklarına kıyasla ilgili bir kitin kaynağı olup olmadığını değerlendirmek zordur(Younes ve Rinaudo 2015).

4.2 Atık Kalıntısı

4.2.1 Özellikler

Larvalara kıyasla, az sayıda çalışma atık kalıntısının özelliklerini analiz etmiştir. Lalander ve diğ. (2015), domuz gübresi, köpek maması ve insan dışkı karışımının BSF tarafından işlenmesinin, atık kalıntısındaki toplam katı madde gramı başına toplam fosfor konsantrasyonunu % 45 ve toplam amonyum azotunun ($\text{NH}_4 + \text{-N}$) neredeyse % 160'ı artırarak, tarımda toprak düzenleyicisi olarak potansiyel kullanımını önermektedir. BSF larvalarının organik azotu amonyum azota dönüştürme potansiyelini yani bitkisel ve gıda atığı ile BSF beslemesinin azot mineralizasyonunu önemli ölçüde arttırdığını Green ve Popa (2012) da gözlemlemiştir. Ayrıca sızıntı suyu içerisindeki amonyum konsantrasyonunun beş kat arttığı gözlemlendi. Atık kalıntısının C / N oranı, besleme stokunun başlangıç C / N oranına bağlıdır. Literatürde nihai atık kalıntısının C / N oranı için bildirilen değerler 10 ila 43 arasındadır (Lalander ve ark. 2015; Saragi ve Bagastyo 2015; Rehman ve ark. 2017a). Atık tortusunun pH'ı tipik olarak 7 ila 8 arasında değişmektedir (Choi ve ark. 2009; Dortmans 2015; Lalander ve ark. 2015; Rehman ve ark. 2017a), Rehman ve ark. (2017a). Atık kalıntısının nem içeriği, atığın ilk nem içeriğine bağlıdır. Gıda atıkları için Cheng ve ark. (2017), başlangıçtaki nem içeriği % 70 ve % 75 olduğunda, besleme süresinin sonunda atık artıklarının nem içeriğinin yaklaşık % 50'ye düştüğünü gözlemlemiştir. Öte yandan, başlangıçtaki nem içeriği % 80 olduğunda, BSF atık arıtma prosesi boyunca azalmamış ve % 80'in üzerinde kalmıştır.

4.2.2 Gübre Olarak Kullanıldığı Çalışmalar,

Bazı çalışmalar farklı ürünler için geleneksel gübrenin yerine gıda atıklarının BSF tarafından biyolojik olarak dönüştürülmesi ile elde edilen atık kalıntısının kullanımına (arıtma sonrası hakkında bilgi yok) ilişkin umut verici sonuçlar bildirmiştir. BSF atık kalıntısının kimyasal bileşimi ile ticari bir gübre arasında önemli bir fark gözlemlenmemiş, BSF atık kalıntısı üzerinde yetiştirilen Çin lahanası büyüme oranının ve kimyasal bileşiminin, ticari gübre üzerinde yetiştirilen lahanalarınkine benzer olduğu bildirilmiştir. Gana'da yapılan agronomik deneyler, inorganik gübre ile birlikte 10 ton ha-1 oranında BSF biyo-gübre (yani bir ila üç hafta boyunca stabilize edilmiş BSF atık kalıntısı) uygulanmasının, kısa ömürlü bitkilerin, (özellikle arpacık soğan ve mısır gibi) ürün verimini tek başına inorganik gübre uygulamasına kıyasla % 55'e kadar artırabildiğini göstermiştir. Ek olarak, sadece BSF biyo-gübre uygulanması, inorganik gübre ile kombine edilmiş kanatlı gübresi uygulamasına kıyasla daha iyi sonuçlar vermiştir (Adeku 2015; Murray 2016; Quilliam ve ark. 2017). Kalıntının tercihen bir olgunlaşma aşamasına tabi tutulması önerilmektedir. (Dortmans 2015; Lohri ve ark.2017; Dortmans ve ark.2017)

4.2.3 Güvenlik

BSF atık arıtımından kaynaklanan atık artıklarının gübre olarak kullanılmasına ilişkin güvenlik hususlarını araştırmak ve ürünlerin çapraz kontaminasyon riskini değerlendirmek için yapılan çeşitli çalışmalar; BSF atık arıtımının patojenleri ve böcek ilaçları gibi toksik maddelerle ilk atıkta bulunan pestisitler veya farmasötiklerin konsantrasyonlarının azaltılmasındaki etkinliğini analiz etmiştir. BSF larvalarının sindirim sistemlerindeki antimikrobiyal aktiviteler sayesinde bazı patojenleri inaktive edebildiklerini ileri sürmüşlerdir. Bununla birlikte, BSF'nin E. colidep'i azaltma yeteneği sıcaklığa bağlıdır (Erickson ve ark. 2004; Liu ve ark. 2008). Erickson ve diğ. (2004), 27 ° C ve 32 ° C'de 23 ° C'den daha fazla patojen azalması gözlemlerken, Liu ve ark. (2008), 23, 27, 31 ve 35 ° C'de inek gübresi içinde patojen azaltımını karşılaştırarak 27 ° C'de en büyük azalmayı rapor etmişlerdir. BSF larvalarının antimikrobiyal aktivitesinin pH'dan etkilendiği görülmüş, alkali tavuk gübresinde patojen azalması gözlemlenirken, asidik domuz gübresinde gözlenmemiştir. BSF larvaları ayrıca işlenen atıklardaki bitki patojenlerini azaltabilir, çünkü BSF'den gelen larva ekstraktının bitki patojenlerine karşı önemli antibakteriyel aktiviteye sahip olduğu bulunmuştur. Diğer yandan, BSF atık arıtımının Enterococcus spp., bakteriyofaj veya Ascaris suumova (helminth yumurtaları) gibi diğer patojenlerin yok edilmesi üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Son olarak, BSF atık arıtımı, atıkta bulunan farmasötik maddelerin ve pestisitlerin çevreye yayılmasını engelleyebilir (2016), BSF atık işleminin, atıktaki karbamazepin, roksitromisin, trimetoprim, azoksistobin ve propiconazol gibi farklı ilaç ve böcek ilaçlarının bozulmasını hızlandırabildiğini bildirmiştir.

5. BSF Teknolojisinin Ekonomik, Çevresel, Yasal ve Sosyal Ölçüleri

5.1 Ekonomik Etki

Küresel olarak, larva ve kalıntı üretimi için atık arıtma sektöründe çalışan özel işletmeler bulunmaktadır. Ancak, rekabet avantajlarını korumak için, bu şirketler operasyonel süreçlerini ve üretilen ürünleri açıklamamayı tercih etmektedir (Zurbrugg ve ark.2018). Bu nedenle BSF teknolojisinin ekonomik boyutuna yönelik çok az sayıda çalışmanın ele alındığını görmek şaşırtıcı değildir ve çoğu araştırma, sürecin biyolojik yönüne odaklanmaktadır. Ayrıca, BSF teknolojisinin ekonomik uygulanabilirliğini analiz eden çalışmalar sıklıkla deneysel veya pilot sistemlerden ticari tesislere yapılan ekstrapolasyonlara dayanmaktadır ve çok sayıda basitleştirici varsayımı olan vaka çalışmalarına dayanmaktadır (Cicková ve ark. 2015). Tablo 15, literatürde sunulan BSF teknolojisine ilişkin ekonomik verileri özetlemektedir.

TABLE 15. ECONOMIC BENEFITS AND COSTS ASSOCIATED WITH A BSF FACILITY.

Parameter	Value	Comments	References
Selling price for the larvae (animal feed) (USD tonne of larvae meat ¹)	Range: 200-2,000; Average: 965 Typically 390, in Indonesia	Studies conducted in the USA, Costa Rica and Tanzania. The value depends on the market targeted (e.g. aquaculture or poultry feed) and the grade of the product (degree of refining)	Torberin and Sheppard 2001; Newton et al. 2005; Diener et al. 2009a; OVFSd 2010; Agrawal et al. 2011; Zurbrugg et al. 2018
Value of dry larvae (animal feed) (USD tonne of waste treated ¹)	Sweden: 126 (feces) – 137 (food waste) Sub-Saharan Africa: 22-32 (fecal sludge)		Diener et al. 2014; Lalander et al. 2017
Annual revenue from the sales of larvae as animal feed ingredients (USD year ⁻¹ tonne daily input ¹)	Range: 6,500 (19 kg of larvae tonne of waste ¹ day ⁻¹ , DW) ^a – 20,000 (50 kg of larvae tonne of waste ¹ day ⁻¹ , DW) ^b ; average: 13,250	Besides the selling price, this value depends on the performance of the BSF facility, i.e. the daily weight of larvae produced per tonne of waste treated (indicated in brackets)	^a Popoff and Maquart 2016b ^b Diener et al. 2009a
Annual revenue from the sales of the waste residue as a soil amendment (USD year ⁻¹ tonne daily input ¹)	6,300 (yield: 230 kg of compost tonne of waste ¹ day ⁻¹)	The ability of the waste residue to contribute to the revenue of a BSF waste treatment facility is questioned by some authors, while other authors point out the difficulty to estimate a price for this product as there is no established market for vermicompost	Popoff and Maquart 2016b
Value of the waste residue as a soil amendment (USD tonne of waste treated ¹)	Sweden: 29 (feces) – 33 (food waste) Sub-Saharan Africa: 7-16 (fecal sludge)		Diener et al. 2014; Lalander et al. 2017
Cost savings on organic waste disposal	75% for swine manure, 85% for cow manure, 20% for food waste	All these studies were conducted in North America	Barry 2004; Newton et al. 2005; Amalya 2008
Space requirement (m ² tonne daily input ¹)	140-640 for medium-scale facilities and 40-50 for large-scale facilities	Medium-scale capacity: 100 kg to 10 tonnes of waste day ⁻¹ Large-scale capacity: > 100 tonnes of waste day ⁻¹	Diener et al. 2009a; and data provided in the case studies
Infrastructure costs (USD tonne daily input ¹)	13,000-18,000 for medium-scale facilities and 32,000-75,000 for large-scale facilities		Diener et al. 2009a; and data provided in the case studies
Infrastructure costs (USD m ²)	30-35 for medium-scale facilities and 900-1,400 for large-scale facilities		Diener et al. 2009a; and data provided in the case studies
Total investment costs (USD tonne daily input ¹)	23,000-28,000	Data available only for developing countries	Diener et al. 2009a; Popoff and Maquart 2016b
Labor requirement (number of operators tonne daily input ¹)	1-3 for medium-scale facilities and 0.3-0.4 for large-scale facilities		Diener et al. 2009a; and data provided in the case studies
Labor cost (USD tonne daily input ¹)	1,900 (160-7,700 (390))	The numbers in brackets are the average wages for developing countries on which the calculation of the labor cost is based on (in USD month ⁻¹)	Diener et al. 2009a; Popoff and Maquart 2016b
Labor cost (USD kg of larvae ¹)	0.11-0.14 (WW) 0.43-0.85 (DW)		Diener et al. 2009a; Caruso et al. 2013; Popoff and Maquart 2016b
Water and energy costs (USD m ³ year ⁻¹)	0.45-4.6 in tropical countries; 33 in Northern countries		Diener et al. 2009a; Alvarez 2012; Popoff and Maquart 2016b

(Continued)

TABLE 15. ECONOMIC BENEFITS AND COSTS ASSOCIATED WITH A BSF FACILITY. (CONTINUED)

Parameter	Value	Comments	References
Total running costs (USD year ⁻¹ tonne daily input ⁻¹)	- 12,000 – 18,000	Data available only for developing countries. Running costs are reported to be two to four times lower than investment costs	Diener et al. 2003a; Popoff and Maquart 2016b; Zurbrugg et al. 2018
Overall performance (yearly profit)	Food waste: USD 90 tonne ⁻¹ year ⁻¹ in Canada; BSF manure management system: USD 100-280 cow ⁻¹ year ⁻¹ , USD 25,000 poultry house ⁻¹ year ⁻¹ in the USA; fecal sludge: USD 116,000 year ⁻¹ for processing the waste from 3 latrines day ⁻¹ in Tanzania		Newton et al. 2005; Amalya 2008; Agrawal et al. 2011; Alvarez 2012

5.1.1 Ekonomik Faydalar

BSF teknolojisi ile ilişkili ekonomik yararların çoğu, bu arıtma yönteminin düşük değerli organik atıkları nispeten düşük maliyetle yüksek değerli proteine dönüştürme gerçeğinde yatmaktadır (Spranghers ve ark. 2017; Diener ve ark. 2009b). Literatürde önerilen temel ekonomik faydalar, larvaların satışından elde edilen gelirler, potansiyel olarak atık kalıntıları ve ayrıca atık kütlesi ve kirleticilerin potansiyel azaltılması sayesinde ortaya çıkan organik atıkların yönetimindeki maliyet tasarruflarıdır (Barry 2004; Amatya 2008; Alvarez 2012). Bu nedenle, bir BSF arıtma tesisinin ekonomik faydalarını değerlendirmek için Amatya (2008) iki gösterge kullanmıştır, yani atık yığınının azaltma oranı ve larvaların ekonomik değeri. Amatya (2008), Newton ve ark. Tarafından yapılan ekonomik değerlendirmeyi iyileştirmek için BSF süreci ile ilişkili atıkların kirlilik potansiyelinin azaltılmasına ilişkin maliyet tasarruflarının ekonomik olarak değerlendirilmesini önermektedir. (2005). Bildirilen ekonomik faydalar ve maliyetler Tablo 15'te özetlenmiştir.

Pazar Fırsatları ve Larvaların Ekonomik Değeri

Balık unu ve soya küspesi için pazar fiyatları artan talep nedeniyle yükselmektedir. Yem, toplam hayvansal üretim maliyetlerinin% 60 ila 70'ini oluşturduğundan, sektör aktif olarak yem içeriğindeki protein kaynaklarını takviye etmek veya hatta ikame etmek için alternatifleri araştırmaktadır.. Sonuç olarak, böcekler, endüstriyel yem üretimi için en umut verici türlerinden birini oluşturan BSF de dahil olmak üzere cazip bir yem çözümü haline gelmiştir (van Huis ve ark.2013; van Huis 2013; Spranghers ve ark.2017). Bu nedenle, geleneksel hayvan yemi pazar fiyatlarında önemli bir artış, hayvan yemi için BSF larvaları üretmenin ekonomik olarak uygulanabilirliğini sağlayabilir (Makkar ve ark.2014; Lalander ve ark.2015). Dahası, BSF larvalarının hayvan yemi olarak kullanılması, Uluslararası Yem Sanayi Federasyonu'nun (2017) yıllık dünya yem üretiminin 400 milyar ABD Doları değerinde 1 milyar ton hacminde olduğunu tahmin ettiği için büyük pazar fırsatları sunmaktadır. Larvaların piyasa fiyatı ile ilgili olarak, literatürde geniş bir değer yelpazesi önerilmektedir. Larva unu için yerleşik bir pazar olmadığından Amatya (2008),balık unu veya soya küspesi gibi ikamelerinin piyasa fiyatının dikkate alınmasını önerdi. Gerçekten, van Huis ve ark. (2013), BSF larva ürünleri gibi böcek bazlı yemlerin, halihazırda su ürünleri yetiştiriciliği ve hayvancılık için yem ürünleri pazarına hâkim olan soya küspesi ve balık unu ile benzer bir pazara sahip olabileceğini savundu. Özellikle, böceklerin hayvanlar için yeni bir protein kaynağı olarak kullanımını araştıran Avrupa Birliği (AB) fonlu proje PROteINSECT tarafından, dipteran böcek diyetinin değerinin soya küspesi değerinin en az iki katı olduğu ancak balık unundan daha düşük olduğu değerlendirildi. (FERA 2016). Caruso ve ark. (2013), BSF ürünlerinin satış fiyatı hedeflenen pazar segmentine bağlıdır. Örneğin, evcil hayvan yem pazarında fiyatlar daha yüksektir, ancak su ürünleri yetiştiriciliği veya hayvancılık üretimindeki pazar payından daha küçüktür. Bir yerleşik pazar olmamasına rağmen, bazı yazarlar larvaların ekonomik değerini ölçmeye çalışmıştır. Örneğin, Tomberlin ve Sheppard (2001) bu değeri 200 USD/ton Newton ve ark. (2005), balık unu değerine dayanarak, 355 USD/ton olarak değerlendirdi. Bazı yazarlar ise

daha yüksek fiyatlar önerdi. Örneğin, Diener ve ark. (2009a), 2009 yılı balık unu pazar değerine dayanarak, su ürünleri yem pazarında 1000 USD/ton kuru larva satış fiyatı önermiştir (2017 yılında bu fiyat 1,100 USD/ton civarındaydı, bkz. Wwww.indexmundi. Ayrıca Agrawal ve ark. (2011), Dar es Salaam'daki (Tanzanya) kümes hayvanları yem pazarını inceleyerek, larvaların yağsız olup olmadığına bağlı olarak iki farklı satış fiyatı önerdi, Bir ton düşük proteinli BSF larva yemeği için 700 USD (yaklaşık% 40 protein içeriği)) ve 1 ton yüksek proteinli BSF larva unu için 1.000 USD (yaklaşık% 60 protein içeriği). Endonezya'da Zurbrügg ve ark. (2018) 390 Dolar ton civarında kuru potansiyel satış değeri bildirmiştir. Son olarak, BSF'nin organik atık biyodönüşümüne ilişkin önde gelen iki uzman Dr. Craig Sheppard ve Dr. Larry Newton tarafından kurulan bir BSF şirketi olan OVRSol (2010), bu değer 1,500 ila 2,000 ton böcek biyokütlesi kadar yüksek olabileceğini bildirdi. (DW veya WW olarak belirtilmemiş). Ayrıca, farklı bileşenler (protein, yağ ve kitin) ayrılırsa bu değer daha da yüksek olabileceğine dikkat çekmişlerdir (OVRSol 2010). BSF larvalarından ekstrakte edilebilen kitinin değeri ile ilgili olarak, Caruso ve ark. (2013), fiyatının saflığına ve uygulamasına bağlı olarak yaklaşık 5.000 ila 100.000 USD/ton arasında değişebileceğini bildirmiştir. Ayrıca, bazı yazarlar, arıtılan bir birim atıktan elde edilen geliri değerlendirmiştir (arıtma maliyetleri dahil değildir). İsveç bağlamında, Lalander ve ark. (2017) kuru BSF larvaları ile arıtmanın 137 ABD dolar/ton gıda atığı ve 126 USD/ton dışkı Diener ve ark. (2014), üç Afrika şehrinde (Dakar, Accra ve Kampala) fekal çamurdan türetilmiş ürünlere yönelik pazar talebini inceleyerek 22 ila 32 USD/ton dışkı çamuru için piyasa değeri bulunmuştur. Bu değerlerin bir özeti Tablo 15'te ve larvaların hayvan yemi olarak satışından elde edilebilecek yıllık gelir ile birlikte yer almaktadır.

Atık Artığının Pazar Fırsatları ve Ekonomik Değeri

Bir BSF tesisi ile ilgili ekonomik faydaları inceleyen az sayıda çalışma arasında, neredeyse hiçbiri atık kalıntısının gübre olarak satışından elde edilen geliri dikkate almamıştır. BSF atık kalıntısının bitki büyümesini teşvik etme etkinliğine ilişkin bazı olumsuz sonuçlar göz önüne alınmasına rağmen, Newton ve ark. (2005), Diener (2010) BSF işleminden sonra elde edilen atık kalıntılarının bir BSF arıtma tesisinin gelirine katkıda bulunma kabiliyetini sorgulamıştır. Salomone ve ark. (2017), atık kalıntısının ekonomik değeri, larvalardan 100 ila 200 kat daha düşüktür, bu da katkısını ihmal edilebilir kılar. Bununla birlikte, BSF biyo-gübresinin etkinliğini test etmek için yapılan daha yeni tarımsal araştırmalar, umut verici sonuçlar ortaya koymuştur (Choi ve ark. 2009; Adeku 2015; NZWC 2015; Enterra 2017c), Sonuçta BSF işleminden kaynaklanan atık kalıntıları BSF tesisleri için bir ek gelir kaynağı olabilir(Caruso ve ark.2013). Bu bağlam, Vancouver yakınlarındaki büyük ölçekli bir BSF tesisi işleten Kanadalı bir girişim olan Enterra Feed, tonaj açısından 2015 biyo-gübre satışının larva bazlı yem bileşenlerine benzer olduğunu söyledi (Enterra 2015). Bununla birlikte, mevcut endüstriyel BSF tesisleri ürünlerinin fiyatlarını halka açık olarak paylaşmadığından, bu üründen elde edilen toplam ekonomik değeri bilmek zordur.

Ayrıca, Caruso ve ark. (2013), biyo-gübre fiyatının çeşitli parametrelere bağlı olduğuna dikkat çekti. Bunlar kalite, köken, kullanılabilirlik ve yerel pazar talebidir. Zering (2013), ABD'nin Kuzey Karolina eyaletindeki BSF gübre yönetim sistemiyle ilişkili maliyetleri analiz ederek BSF atık kalıntısının değerinin vermicompost ile aynı olabileceğini öne sürdü.. Popoff ve Maquart (2016b), yaklaşık 1 ton atıktan 230 kg kompost üreten bir BSF atık arıtma tesisinin, bu kompostun satışından yıllık 6.300 USD kazanabileceğini hesapladı. Bununla birlikte, kompostun fiyatının nasıl belirlendiği hakkında hiçbir bilgi yoktu. Ek olarak, Popoff ve Maquart (2016b), BSF tesisinin yıllık gelirinin, larvaların ve kompostun satışları arasında neredeyse eşit bir şekilde dağıldığını düşünmektedir. Arıtılan atık birimi başına atık kalıntısının değeri ile ilgili olarak, Lalander ve ark. (2017), İsveç'te işlenen tonlarca gıda atığı için 33 USD/ton ve arıtılmış tonlarca dışkı için 29 USD/ton olduğunu tahmin etmiştir. Diğer taraftan, Diener ve ark. (2014) Afrikada altı şehirdeki atık kalıntısının arıtılan dışkı çamuru için ton başına 7 ila 16 ABD Doları değer hesaplamıştır. Bu bağlamda atık kalıntılarına ilişkin veriler Tablo 15'te özetlenmiştir.

5.1.2 Süreçle İlişkili Maliyetler

BSF tabanlı bir atık işleme tesisi için maliyetler sabit veya değişken olarak sınıflandırılabilir. Sermaye maliyetlerini (yani inşaat, arazi edinimi ve varsa faiz) içeren sabit maliyetler üretim ek makine gerektirmediği sürece, üretim düzeyinden bağımsız olarak değişmez. Sabit maliyetler, amortisman, kira ve sigorta gibi periyodik maliyetleri de içerebilir. Faaliyet düzeyi ile orantılı olarak değişen arz, işçilik ve kamu hizmeti giderleri gibi diğer tüm maliyetler, değişken maliyetler olarak sınıflandırılmaktadır (Zurbrügg ve ark.2018). Ticari bir BSF atık arıtma tesisinin kurulması ve işletilmesi ile ilgili maliyetlere ilişkin veriler azdır. Bununla birlikte, birkaç çalışma BSF teknolojisi ile ilgili maliyetleri deneysel veya pilot ölçekli BSF atık arıtma birimlerine göre analiz etmiştir. Bu çalışmalar BSF atık arıtma tesisiyle ilişkili sabit maliyetleri (inşaat ve ekipman maliyetleri) ve değişken maliyetleri (tesisin işgücü, işletme ve bakımı, vb.) tartışmıştır (Amatya 2008; Diener ve ark. 2009a; Caruso ve ark. 2013; Popoff ve Maquart 2016b; Zurbrügg ve ark.2018).

Literatürde BSF atık arıtımı ile ilgili maliyetlere ilişkin veriler Tablo 15'te özetlenmiştir. Yatırım Maliyetleri Diener (2010) ve Bucher ve Peterhans'a (2016) göre, BSF teknolojisi diğer organik atık değerlendirme yöntemlerine kıyasla yüksek yatırım maliyetleri gerektirmemektedir. Sınırlı mali kaynaklarla çalışabilen düşük ve orta gelirli ülkeler için özellikle uygundur (Ponce Jara 2015). Tablo 16, farklı kapasitelere sahip birkaç tesis ve Kosta Rika'da ilişkili maliyetleri Diener ve ark. (2009a) laboratuvar deneylerinden bir ekstrapolasyona dayanmaktadır. Ayrıca, atık arıtma kapasitesi, alan gereksinimi ve altyapı maliyetleri ile ilgili genel eğilimleri belirlemek için ilgili oranlar hesaplanmıştır. Tablo 16'da gösterildiği gibi, büyük ölçekli BSF tesisleri (en az 100 ton atık/gün kapasiteli) 40 ila 50 m²/ton atığı artırırken, daha küçük tesisler aynı miktarda organik atığı işlemek için birkaç yüz metrekareye ihtiyaç duyar. Öte yandan, orta ölçekli tesislerde (yüzlerce kilogram ila bir düzine ton arasında günlük kapasite) altyapı maliyetleri, kapasiteye veya alana göre, büyük ölçekli

tesislere göre çok daha düşüktür. Bunun nedeni, daha büyük tesislerin büyük ölçüde otomatik olması ve bu nedenle birim alan başına artılan atık miktarı açısından daha verimli çalışmasıdır, ancak diğer yandan 1 ton atığı işlemek veya 1 metrekare inşa etmek için metrekare ve ton başına daha büyük yatırımlar gerektirmektedir. Bir BSF tesisinin farklı birimleri arasındaki altyapı maliyetlerinin yeniden bölümlenmesi ile ilgili olarak, üreme biriminin inşa edilmesinin en masraflı kısım olduğu görülmektedir. Barry (2004), Kuzey Teksas Üniversitesi kampüsünde üretilen gıda atıklarının değerlendirilmesi için tezgah ölçekli bir BSF tesisi kurmak için kullanılan ekipman ve malzemelerin maliyetlerini listelemiştir. Bu maliyetler yaklaşık 5.600 USD tutarındaydı, bunun% 90'ı üreme birimine, özellikle de seraya aitti. Benzer şekilde, Caruso ve ark. (2013), Endonezya'daki bir pilot BSF tesisi için, bina maliyetlerinin yaklaşık% 75'inin yetiştirme biriminin inşasına tahsis edildiğini hesaplamıştır. Literatürde mevcut olan toplam yatırım maliyetleri (altyapı maliyetleri, ekipman maliyetleri, arazi satın alma vb.), günlük atık arıtma kapasitesine göre Tablo 15'te sunulmaktadır.

İşgücü Maliyetleri

Tablo 17, atık arıtma kapasitesine ve mevcut olduğunda ilgili işgücü maliyetlerine bağlı olarak BSF tesisi işletmek için gereken operatör veya çalışan sayısını göstermektedir.

TABLE 16. COMPARISON OF INFRASTRUCTURE COSTS, SPACE REQUIREMENT AND CAPACITY OF SEVERAL BSF WASTE TREATMENT PLANTS.

Facility ^a	Location	Capacity (tonne of waste day ⁻¹)	Area (m ²)	Infrastructure costs (USD)	Ratio area/capacity (m ² tonne daily input ⁻¹)	Ratio infrastructure cost/capacity (USD tonne daily input ⁻¹)	Ratio infra:structure cos./area (USD m ⁻²)
Ento-Prise (Case study 3)	Ghana	0.33	212	6,090	-640	-18,000	-30
FORWARD (Case study 1)	Indonesia	3	424	- ^b	-140	- ^b	-
Fictitious plant ^c	Costa Rica	3	1,100	40,000	-370	-13,000	-35
Enterra Feed (Case study 4)	Canada	100	5,300	7,500,000	-50	75,000	-1,400
AgriProtein (Case study 2)	South Africa	250	9,000	8,000,000	-40	32,000	-300

^aFor case studies see chapter 6.

^bLarge part of the needed infrastructure was already available.

^cEstimations by Diener et al. 2009a.

TABLE 17. LABOR REQUIREMENTS AND COSTS DEPENDING ON THE WASTE TREATMENT CAPACITY.

Facility ^a	Location	Capacity (tonne of waste day ⁻¹)	# full-time operators/ employees	Ratio # operators/capacity (operators tonne daily input ⁻¹)	Average wage (USD month ⁻¹)	Labor costs (USD year ⁻¹)	Ratio labor costs/capacity (USD tonne daily input ⁻¹)
Ento-Prise (Case study 3)	Ghana	0.33	1	3	160	1,920	-1,900
FORWARD (Case study 1)	Indonesia	Up to 3	3	1 ^b	-	-	Less than 8,300 ^c
Fictitious plant ^c	Costa Rica	3	5	1.7	-360	23,200	-7,700
Enterra Feed (Case study 4)	Canada	100	32	0.3	-	-	-
AgriProtein (Case study 2)	South Africa	250	90	0.4	-	-	-

^aFor case studies see chapter 6.

^bZurbögg et al. (2018) established the ratio will reduce from 6 staff per tonne daily to 0.68 staff per tonne daily when the capacity of the plants is increased from 1 to 60 tonnes per day.

^cLabor costs were estimated for a production of 1 tonne of waste day⁻¹. Economies of scale will normally cause the ratio to reduce for higher production capacities, i.e. between 1 and 5 tonne of waste day⁻¹.

^dEstimations by Diener et al. 2009a; # = number.

Daha yüksek bir otomasyon seviyesi nedeniyle, daha büyük ölçekli BSF tesisleri, Tablo 17'de gösterildiği gibi, daha küçük ölçekli BSF tesisine kıyasla belirli bir miktarda atığı işlemek için daha az personel gerektirir. İşgücü gereksinimi biyokütle üretimine göre de hesaplanabilir. Çeşitli çalışmalara göre toplam işletme maliyetlerinin %45-65 işgücü maliyetidir. Buna karşılık, Diener ve ark. (2009a) yaptığı çalışmada işgücü ile ilgili maliyetler toplam işletme maliyetlerinin% 65'ini temsil etmektedir

ve günlük prepupal verimle karşılaştırıldığında 0,42 USD/kg larva(DW) tutarındadır. Bu değerler Tablo 18'de özetlenmiştir ve Ento-Prize vaka çalışmasının değerleriyle karşılaştırılmıştır. Son zamanlarda, Zurbrügg ve ark. (2018) Endonezya'da günde 1 ton atık işleyen bir tesis için işçilik maliyetlerinin tesis işletme maliyetlerinin% 45'i kadar olduğunu belirledi. Küçük ölçekli tesislerin çoğu için gerçek işgücü maliyetleri optimum değildir. Üretim kapasitesi yetiştirme birimi (Zurbrügg ve ark. 2018) gibi işlemin parçalarına yönelik işgücü taleplerini etkilemeden birkaç kat artırılabilir.

TABLE 18. LABOR COSTS ACCORDING TO BIOMASS PRODUCTION AND TOTAL RUNNING COSTS.

Facility	Labor costs (USD kg of larvae ⁻¹)	Labor costs according to the total running costs (%)
Ento-Prize (case study 3)	0.11 (WW)	50
Fictitious plant in Costa Rica ^a	0.43 (DW)	65
Plant in Indonesia ^b	0.85 (DW)	30-45
	0.14 (WW)	30-45

^a Estimations by Diener et al. 2009a; ^b estimations by Caruso et al. 2013 and Zurbrügg et al. 2018.

Genel İşletme Maliyetleri

Pozzebon'a (2015) göre, bir BSF tesisiyle ilişkili işletme maliyetleri düşüktür. Bu, Caruso ve ark. (2013), Endonezya'daki bir pilot BSF tesisi için değişken maliyetlerin sabit maliyetlerden dört kat daha düşük olduğunu tahmin ederken, Diener ve ark. (2009a) ve Popoff ve Maquart (2016b) yıllık işletme maliyetlerini sırasıyla yatırım maliyetlerinden neredeyse 2,5 ve 2 kat daha düşük hesapladılar. Endonezya'daki küçük ölçekli bir tesis için, ekipmanın bakımı ile ilgili maliyetler toplam işletme maliyetinin% 30'unu oluşturmaktadır (Zurbrügg ve ark.2018). Bununla birlikte, yeni yumurtadan çıkan genç larvaları beslemek için kullanılan elektrik, su ve tavuk yemi gibi diğer değişken maliyetler toplam maliyetin yaklaşık% 12'sine ulaşmaktadır. Alvarez (2012), Kanada'daki dönemsel besleme tekniği kullanan BSF tesisinin ekonomik uygulanabilirliğini analiz ederek, BSF prosesi ile ilişkili su ve enerji maliyetleri, su için Dolar olarak 0.3/m²/yıl, elektrik için 4.8 m²/yıl ve doğal gaz için 37.2 m²/yıl, toplam 42.3 m²/yıl USD hesaplamıştır. Bu bağlamda, bir BSF tesisinin işletme maliyetleri yerel iklime önemli ölçüde bağlıdır, çünkü BSF'yi Kuzey ülkeleri gibi olumsuz iklim koşullarında yetiştirmek, tüm yıl boyunca tedaviyi sürdürmek için ısıtma ve potansiyel aydınlatma gerektirir; önemli ölçüde daha yüksek enerji tüketim maliyetleri ile sonuçlanır (Cicková ve ark. 2015). Gerçekten de, tropik ülkelerde yapılan çalışmalarla bildirilen enerji ve su maliyetleri, Alvarez (2012) tarafından bildirilenlerden çok daha düşüktür, ancak olası düşük tüketim ücretleri nedeniyle doğrudan bir karşılaştırma zor olacaktır. Örneğin, Diener ve ark. (2009a) Kosta Rika'daki 1.100 m² BSF tesisinin toplam enerji ve su maliyetleri için 0.45 m²/yıl ABD doları tahmin ederken, Popoff ve Maquart (2016b) enerji (gaz) için 4.6 m²/yıl ABD Doları maliyet bildirmiştir. Literatürde mevcut olan toplam işletme maliyetleri, günlük atık arıtma kapasitesine göre Tablo 15'te sunulmaktadır. Tipik olarak Endonezya için Zurbrügg ve ark. (2018) üretme birimi ile ilgili operasyonların tesis işletme maliyetlerinin% 31'ini temsil edebileceğini belirlemiştir. Geri kalan tedavi üniteleri çalışma için

toplam işletme maliyetlerinin% 56'sını gerektirecektir. Dolaylı maliyetler işletme maliyetlerinin% 13'ü olarak tahmin edilmiştir.

5.1.3 Genel Ekonomik Performans

BSF atık arıtma tesisinin genel ekonomik performansı, yerel iklim ve özellikle sıcaklık ve nem seviyeleri, işlenen atıkların miktarı, tipi ve kalitesi (inorganik malzeme miktarı), sermaye ve işletme ile ilgili maliyetleri, larva ve atık kalıntılarının satışından elde edilen gelirler (geleneksel hayvan yemleri ve gübrelerin maliyetine bağlı olarak) ve potansiyel olarak atık işleme gelirlerine bağlıdır (Diener ve ark. 2009a; Campbell 2013; Dortmans ve diğerleri 2017). Benzer şekilde, Amatya (2008), bir BSF sisteminin ekonomik performansının için önemli olduğunu belirten iki anahtar parametre belirlemiştir. Bunlar kuru madde üzerinden dönüşüm oranı ve atığı dönüştürmek için gereken süredir.

Birkaç araştırmacı BSF tesisinin sağlayabileceği kazancı ölçmeye çalıştı. Alvarez (2012), belirli varsayımlar ve koşullar altında, Kanada'da yılda 200 ton gıda atığı işleyen bir BSF tesisinin yaklaşık günde 50 USD'lik bir kar elde edeceğini ve ekonomik olarak uygulanabilir olduğunu tespit etmiştir. Ancak, analizde bazı maliyetler dikkate alınmamış ve sadece larvalardan elde edilen satış geliri dikkate alınmıştır. Buna ek olarak, Kanada'daki iklim koşulları BSF ıslahı ve yetiştiriciliği için yetersiz olduğundan, enerji tüketimiyle ilgili işletme maliyetleri, yerel iklimin ekonomik performans üzerindeki önemli etkisini vurgulayan tropik bölgelerde önemli ölçüde azaltılabilir. Bununla birlikte, BSF teknolojisiyle ilişkili enerji maliyetleri tropikal ülkelerde çok daha düşük olmakla birlikte, ürünlere, özellikle larva bazlı yem bileşenlerine yönelik pazar talebi, hayvansal üretim endüstrisinin büyük bir kısmının bulunduğu Kuzey ülkelerinde daha yüksek olabilir. . Sadece işgücü maliyetleri, prepupalardan elde edilen satış geliri ve atık bertarafından elde edilen maliyet tasarrufu göz önüne alındığında, Amatya (2008), Teksas'taki BSF inek gübresi tedavi tesisi için yaklaşık inek başına yılda 100-280 ABD doları kar hesaplanabilir(prepupaların piyasa değeri, gübre yönetim sistemi ve mandıra büyüklüğüne bağlı olarak). Kuzey Amerika bağlamında, Newton ve ark. (2005), tavuk gübresini sahada yönetmek için BSF kullanmanın, geleneksel gübre yönetimine kıyasla, kümes başına yılda 25.000 ABD doları net kâr sağlayacağını tahmin etmiştir. Kuzey ülkelerinde BSF tesislerinin ekonomik uygulanabilirliğini arttırmak için Alvarez (2012), binanın enerji verimliliğini ve birim alan başına arıtılacak atık yoğunluğunu artırmak gibi potansiyel iyileştirmeleri tanımlamıştır.

Güney ülkeleri için olduğu gibi, Agrawal ve ark. (2011), Tanzanya'nın Dar es Salaam'daki foseptiklerden toplanan fekal çamurun biyodizel ve kümes hayvanı yemine dönüştürülmesinin ekonomik olarak mümkün olduğunu tespit etmişlerdir. Adım adım bir yaklaşım önermişler, ilk iki yıl larva yağını biyodizel üreticilerine ve yağsız larvaları kümes hayvanları için yüksek kaliteli hayvan yemi olarak satmak için larvaların yağ içeriğini çıkararak ve üçüncü yılda, biyodizel üretmek için ilk yıllarda yapılan ekipmanı yeniden yatırıp büyüyerek. Günde üç foseptik atığını işlemekten ve üretilen biyodizel ve yağsız larvaları yüksek dereceli kümes hayvanları yemi olarak satmaktan yıllık kârın 116.000 ABD Doları olabileceğini tahmin ettiler.

5.2 Çevresel Etki

Tablo 19, ana çevresel faydaları ve bununla ilişkili olumsuz etkileri özetliyor.

TABLE 19. ENVIRONMENTAL BENEFITS AND NEGATIVE IMPACTS ASSOCIATED WITH A BSF FACILITY.

	Characteristics	References	
Environmental benefits	Larvae as an alternative to unsustainable animal feed products	Producing insect-based meals from high-impacting waste streams or low-value food processing by-products is two to five times more environmentally friendly than manufacturing conventional feed products	Smetana et al. 2016
	Nutrient leakage reduction	Reduction of the pollution potential of waste by 50-60%	Newton et al. 2005; van Huis et al. 2013
	Energy-related benefits	The production of BSF larvae-based biodiesel exhibits a higher conversion efficiency (460 L tonne ⁻¹ of larvae, DW) and yields (50-30 10 ⁶ L ha ⁻¹ year ⁻¹) compared to common biodiesel feedstocks	FAO 2008; Li et al. 2011b; Zheng et al. 2012a, 2012b; Shikida et al. 2014
	Odor reduction	Odor reduction due to short processing time, reduction of bacterial activity, aerating and drying of the waste by larvae	Newton et al. 2005, 2008; Diener 2010; van Huis et al. 2013
Negative environmental impacts	Main adverse impacts: energy consumption for postprocessing of the products and waste transport	Salomone et al. 2017	
Overall environmental performance	The impacts of processing 1 tonne of food waste into larvae protein for aquaculture and larvae oil for biodiesel production in Italy are estimated at: <ul style="list-style-type: none">• 30.2 kg CO₂ equivalent of GWP;• 215.3 MJ of energy used; and• 0.661 m² of arable land used.	Salomone et al. 2017	

5.2.1 Çevresel Faydalar

BSF atık arıtma yöntemiyle ilişkili birkaç çevresel yarar literatürde belgelenmiştir. Sürdürülemez geleneksel yem kaynaklarının BSF larva bazlı bileşenlerle potansiyel ikamesi, BSF işleminin atıkların kirlilik potansiyelini azaltma kabiliyeti, enerji ile ilgili faydalar ve koku azaltma potansiyelini içerir. Bu faydalar bu bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir ve Tablo 19'da özetlenmiştir.

Sürdürülebilir Yem Kaynaklarına Bir Alternatif Olarak Larvalar

Hayvansal üretim endüstrisinde kullanılan geleneksel yem ürünlerini ikame etmek, literatürde büyük ölçüde belgelenen ve muhtemelen daha şiddetli hale gelebilecek balık unu ve soya küspesi üretimi ile ilişkili önemli olumsuz etkileri hafifletebilir. Et tüketimi artmaktadır (Makkar ve ark.2014; Lalander ve ark.2015). Örneğin, küresel soya üretiminin % 85'i, şu anda karasal hayvanlar için ana yem kaynağı olarak Batı yarımkürede büyüyen hayvancılık üretimini sürdürmek için kullanılmaktadır (Stamer 2015; Spranghers ve ark. 2017). Sonuç olarak, soya küspesi üretimi, özellikle tropik bölgelerde (90 milyon hektarlık arazi üç ana soya üreticisi tarafından tek başına kullanılmaktadır) insan gıda üretimi için arazi mevcudiyeti üzerinde baskı yaratır ve ormansızlaşmaya neden olur ve böylece tropikal ormanlar tarafından desteklenen ekosistemi etkileyerek biyolojik çeşitliliği azaltır.

(Stamer 2015; Spranghers ve ark.2017). Ayrıca, soya küspesi üretimi biyolojik çeşitliliği tehdit edebilecek, toprak verimliliğini azaltacak ve su kaynaklarını tüketebilecek monokültürlere dayanmaktadır (Stamer 2015). Benzer şekilde, küresel balık üretiminin % 10'u balık unu üretmek için kullanılır; bunların% 90'dan fazlası en hızlı büyüyen hayvansal üretim sektörü olan su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılmaktadır (Papadoyianis 2007; van Huis 2013; van Huis ve ark.2013; Stamer

2015). Bu nedenle, soya k spesti gibi, su ürünleri yetiştiriciliği için balık unu üretiminin balıkların insan gıdası için kullanımını ile giderek daha fazla rekabet etmektedir. Buna ek olarak, balık unu üretimi, özellikle küçük pelajik yem sahaları olmak üzere, çoğunlukla deniz sahalarına dayandığı için doğal kaynaklar üzerinde baskı oluşturmaktadır (Diener 2010; Tacon ve Metian 2008; Lalander ve diğerleri 2015). Ayrıca bu endüstri, küresel balık unu üretiminin % 80'i sadece on ülke tarafından yapıldığından, uzun mesafe taşımacılığı ile de ilişkilidir (her ton balık unu için ortalama nakliye mesafesi 5.000 km'dir) (Papadoyianis 2007). Smetana ve ark. (2016) BSF'nin daha sürdürülebilir bir yem üretim endüstrisi sağlama yeteneğinin değerlendirmesini yapmışlardır. Küresel Isınma Potansiyeli (GWP), enerji kullanımı ve arazi kullanımını da dahil olmak üzere çok çeşitli çevresel göstergeleri göz önünde bulundurarak, yüksek miktardaki atık veya düşük değerli gıda işleme yan ürünlerinden böcek bazlı yemler üretmenin mevcut yem kaynakları üretimine göre 2-5 kat daha fazla evre dostu olduğunu hesapladılar. Bununla birlikte, böceklerden yem muhtevası üretmenin genel çevresel performansı, büyük ölçüde böcekleri beslemek için kullanılan substrata bağlıdır. Biyolojik dönüşüm sürecinin etkinliği ile beslenmenin, beslenme kalitesine ve besleme stokunun değerlenmesiyle ilgili çevresel faydaları arasında denge vardır. Örneğin, larvaları beslemek için soya fasulyesi unu veya avdar unu gibi yüksek beslenme kalitesinde bir diyet kullanmak, daha büyük ve daha yüksek kalitede bir böcek biyokütlesi verir, ancak çevresel yararı düşer. Öte yandan, biyolojik dönüşüm sürecinin daha az verimli olduğu düşük kaliteli substratların ( rneğin tavuk gübresi) kullanılması daha fazla kaynak gerektirebilir. Genel olarak, en yararlı olan substratlar damıtıcıların tahılları (bira ve alkol endüstrisinden bir yan ürünü) ve belediye organik atıklarıdır (Smetana ve ark. 2016).

Besin Kirliliğinin Azaltılması

BSF atık arıtmasının hammaddenin besin içeriğini ve evre kirliliği riskini azalttığı bildirilmiştir. Newton ve diğ. (2005), BSF larvalarının işlenmesinin domuz gübresi içindeki besin konsantrasyonlarını % 40 ila 55 oranında azalttığını bildirmiştir. Benzer şekilde, Gürcistan'daki domuz gübresi için deneysel BSF tedavi  nitesinde Newton ve ark. (2008), BSF larvaları tarafından işlenen gübre içerisinde aşağıdaki besinsel azalma oranlarını gözlemlemiştir: azot için % 71, fosfor ve potasyum için % 52 ve alüminyum, bor, kadmiyum, kalsiyum, krom, bakır, demir, kurşun, magnezyum, manganez, molibden, nikel, sodyum, kükürt ve çinko gibi diğer bileşenler için % 38 ila % 93 arasında değişen azalma performansı gözlenmiştir. Süt ineği gübresi için Myers ve ark. (2008) BSF larvalarının mevcut fosforu % 61-70 ve azotu % 30-50 azalttığını bildirmiştir. Bu nedenle, BSF teknolojisi kirlilik potansiyelini % 50-60 veya daha fazla azaltabilir (Newton ve ark.2005; van Huis ve ark.2013).

Enerjiye İlişkin Avantajlar

BSF teknolojisinin kullanımı enerji tasarrufu da sağlayabilir. Newton ve ark. (2008), BSF larvalarından hayvan yemi üretmek, balık unu üretmek için okyanustan yakalanarak kurutulmasından çok daha az enerji gerektirir. Ayrıca, BSF süreci, biyodizel elde etmek için kullanılabilen enerji açısından zengin larvalar üretir ve sürdürülebilir enerji üretimine katkıda bulunur (Li ve ark. 2011a; Zheng ve ark. 2012a, 2012b; Leong ve ark. 2016). Buna ek olarak, ucuz ve bol organik atıklarla beslenen BSF larvalarından üretilen biyodizel, sınırlı ve pahalı hammaddeye dayanan ve tarımsal arazi rekabeti nedeniyle gıda fiyatını artıran aynı zamanda gıda güvenliğini tehdit eden geleneksel bitkisel yağ bazlı biyodizele göre çekici bir alternatiftir (Li ve ark. 2011a; Zheng ve ark. 2012a, 2012b). BSF larvalarından biyodizel üretim potansiyelini göstermek için, BSF larvalarının yağ bazlı biyodizel verimleri, biyodizel üretimi için yaygın olarak kullanılan diğer hammaddeler için elde edilenlerle karşılaştırılır (bakınız Tablo 20).

Tablo 20'de gösterildiği gibi, BSF larvaları (460 L ton larva-1, DW) için ortalama biyodizel dönüşüm verimliliği, soya fasulyesi (205 L ton-1) ve palmiye yağı (230 L ton-1) oranından en az iki kat daha fazladır.) (FAO 2008).

Ayrıca, BSF larvalarından biyodizel üretmek, arazi kullanımı açısından çok daha etkilidir. Örneğin, BSF larvalarından 1 L biyodizel üretmek, soya fasulyesine kıyasla ortalama 270.000 kat ve palmiye yağı ile karşılaştırıldığında 30.000 kat daha az yer gerekir.

Koku

BSF işlemi, yüksek larva yoğunluğu ve larvaların iştahı, bakteriyel aktivitenin azalması, larvaların havalandırma ve kurutulması , bunları oldukça kısa sürede gerçekleştirilmesi nedeniyle organik maddenin ayrışmasından kaynaklanan kötü kokuyu azaltır ve hatta bazen ortadan kaldırır. Atıkların (Newton ve ark. 2005, 2008; Diener 2010; van Huis ve ark. 2013). 5.2.2 Salomone ve ark. (2017),

5.2.2.BSF teknolojisiyle ilişkili ana olumsuz etkiler

Ürünlerin işlenmesi ve özellikle de larvaların kurutulması için enerji tüketimine ve bununla birlikte BSF atık arıtmasına özgü bir etki olmayan atık taşınmasına bağlanabilir. Sera gazı emisyonları ile ilgili olarak, Perednia ve ark. (2017), hammaddede bulunan karbonun yaklaşık% 28.5'inin BSF tarafından biyo-dönüşüm süreci boyunca CO₂ şeklinde atmosferde kaybolduğunu tespit ettiler. Bununla birlikte, karşılaştırıldığında, aerobik kompostlama atmosfere % 70 daha fazla doğrudan CO₂ emisyonu ile sonuçlanır. Bunun nedeni, aerobik kompostlamaya katılan mikroorganizmaların aksine, BSF larvaları, karbonun ortalama % 41'ini protein, lipitler ve kitin formunda vücut kütlelerine dahil edebilmesidir (Perednia ve ark. 2017). Ek olarak, aerobik koşullar altında yetiştirilen BSF larvaları ihmal edilebilir miktarda CH₄ üretir (Perednia ve ark. 2017). BSF süreci ile ilişkili olumsuz çevresel etkiler Tablo 19'da özetlenmiştir.

TABLE 20. COMPARISON OF BIODIESEL YIELDS FOR DIFFERENT FEEDSTOCKS.

Feedstock	Conversion efficiency (L tonne of feedstock ^a)	Biodiesel yield (L ha of land used ^a year ⁻¹)	References
Oil extracted from BSF larvae	460 ^a	50.10 ^a -230.10 ^{ab}	Diener et al. 2009a; Popoff and Maquart 2016b
Soybean	205	491-552	FAO 2008
Oil palm	230	4,092-4,736	FAO 2008
Rapeseed oil	-	1,320	Shikida et al. 2014

^a Average value calculated from the values reported in Table 13.

^b Values calculated based on the space area and daily larval yield of a fictitious BSF plant in Costa Rica and an existing pilot plant in Ghana.

5.2.3 Genel Çevre Performansı

Çok az sayıda çalışma BSF sürecinin genel çevresel performansını analiz etmiştir. Salomone ve diğ. (2017), İtalya'daki gıda atıklarını kompost, su ürünleri yetiştiriciliği için larva proteini ve biyodizel üretimi için larva lipitleri olarak işleyen bir BSF pilot tesisinin çevresel etkilerini değerlendirmek için bir yaşam döngüsü değerlendirmesi gerçekleştirmiştir. 1 ton işlenmiş gıda atığının Küresel ısınma Potansiyeli(GWP) açısından 30,2 kg CO₂ eşdeğeri, enerji kullanımı açısından 215,3 MJ ve arazi kullanımı açısından 0,61 m² ekilebilir arazi kullanımına neden olduğu tahmin edilmektedir (bakınız Tablo 19). Hayvan yemi ve kompost üretmek için post-proses aşamasının GWP ye en fazla katkı yaptığını ve bunu taşıma aşamasının izlediğini belirttiler. BSF teknolojisi ile ilişkili en önemli etkinin, larvaların kurutma işlemiyle ilgili enerji tüketimi olduğunu belirlediler. Ayrıca, bu sonuçları balık yemi (soya fasulyesi unu) veya biyodizel üretimi (kolza tohumu) için alternatif hammaddeler kullanıldığında elde edilen sonuçlarla karşılaştırarak, arazi kullanımının BSF atık arıtımının en önemli faydası olduğunu buldular. Bununla birlikte, tarım arazilerinin mevcudiyeti üzerindeki baskı arttıkça, BSF larvalarından hayvan yemi ve biyodizel üretmek için gereken minimum arazi kullanımının GWP ve enerji kullanımından çok daha önemli bir unsur haline gelebileceğine dikkat çekmişlerdir. Karşılaştırma verileri Tablo 21'de sunulmaktadır. Kompost ile ilgili olarak Salomone ve ark. (2017), azotlu gübre yerine BSF gübresi kullanımının, esas olarak GWP açısından önemli çevresel faydalarla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

TABLE 21. COMPARISON OF DRIED LARVAE WITH ALTERNATIVE FEEDSTOCKS FOR FEED AND BIODIESEL PRODUCTION IN TERMS OF ENVIRONMENTAL IMPACTS.

	Fish feed		Biodiesel	
	1 kg protein (dried larvae)	1 kg protein (soybean meal)	1 kg lipids (dried larvae)	1 kg lipids (rapeseed)
GWP (kg CO ₂ eq.)	2.1	1.7	2.9	2.7
Energy use (MJ)	15.1	4.1	20.8	11
Land use (m ² of arable land)	0.05	8.7	0.06	6.5

Source: Salomone et al. 2017.

Komakech ve diğ. (2015), çevresel bir bakış açısından, Altı Afrika şehri bağlamında farklı organik atık arıtma seçeneklerini, yani anaerobik sindirim, kompostlama, vermikompostlama ve BSF arıtmasını da karşılaştırmışlardır. Araştırılan tüm etkiler (enerji kullanımı, GWP ve ötrofikasyon potansiyeli) için en yüksek çevresel performansı anaerobik sindirim sistemi göstermiştir. Bununla

birlikte, BSF teknolojisinin diğer tedavi yöntemlerine göre büyük çevresel avantajlarından birini teşkil edebilecek olan hayvan yemi üretiminde balıkların BSF larvaları ile ikame edilmesine ilişkin etkisi hesaba katılmamıştır.(Komakech ve ark. (2015). Buna ek olarak, BSF teknolojisi hakkında bilgi, diğer değerlendirme seçeneklerinde olduğu kadar gelişmiş değildir, bu nedenle BSF atık arıtımı ile ilgili yukarıdaki sonuçlar güvenilir olmayabilir. Her durumda, bir BSF tesisinin çevresel performansı, larvaları beslemek için kullanılan atığın kökeni ve doğası, ürünlerin son kullanım biçimi ve yerel iklim de dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır (Ponce Jara 2015; Smetana ve ark. 2016).

5.3.Yasal Düzenlemeler

BSF teknolojisi ile ilgili temel yasal konu, hayvan üretim endüstrisinde böceklerin yem bileşenleri olarak kullanılması ile ilgilidir. Birçok ülkede böcek proteini ile hayvan besleme konusunda herhangi bir düzenleme yoktur (Caruso ve ark.2013; van Huis ve ark.2013; Cicková ve ark.2015). Van Huis ve ark. (2013), böceklerin hayvan yemi olarak kullanılmasını düzenleyen açık mevzuat ve standartların bulunmaması, gelişmiş ülkelerde böcek yetiştiriciliğinin endüstriyel gelişiminin önündeki en önemli engellerden birini oluşturmaktadır. Öte yandan, gelişmekte olan ülkelerde, hayvan üretimi ile ilgili katı kuralların olmaması, hayvanların beslenmesi için böcek proteininin kullanımını genellikle tolere etmektedir (van Huis ve ark. 2013). Örneğin, Güney Afrika'da AgriProtein tarafından endüstriyel olarak üretilen BSF larva bazlı yem bileşenleri (bkz. Vaka çalışması 2) Güney Afrika'da satışı onaylanmışken, henüz Avrupa'ya ihraç edilememektedir (Pozzebon 2015). Tablo 22, dünyanın farklı bölgelerinde hayvan yemi olarak BSF larvalarının kullanımına ilişkin mevcut mevzuata genel bir bakış sunmaktadır.

TABLE 22. LEGISLATION REGARDING THE USE OF BSF LARVAE AS ANIMAL FEED IN DIFFERENT PARTS OF THE WORLD.

Context	Legislation regarding the use of BSF larvae proteins as animal feed	References
EU	The use of feed ingredients derived from BSF larvae has been recently authorized in aquaculture, but most conventional waste streams are prohibited for use as feedstock to rear the larvae. The use of BSF larvae to feed livestock animals is still banned	Caruso et al. 2013; van Huis et al. 2013; Cicková et al. 2015;
North America	Some BSF larvae-based feed ingredients have been approved as feed for certain fish and poultry species in the USA and Canada	Leung 2016, 2017; FEFAC 2017; IPIFF 2017
Developing countries	The use of insect protein to feed animals is often tolerated, resulting in fewer legal barriers	

Kuzey Amerika'da, Kanada'daki Enterra Feed (bkz. Vaka çalışması 4) gibi bazı ticari BSF girişimleri, ABD'deki Kanada Gıda Denetim Ajansı'ndan (CFIA) ve Gıda ve İlaç İdaresi'nden (FDA) larva bazlı yem ürünlerinin belirli tür balık ve kümes hayvanları türleri için yem olarak kullanılmasında (Leung 2016, 2017)onay almayı başardı. AB'de, Hayvansal üretimde yem olarak kullanılacak hayvansal kaynaklı böcek proteini kullanımı, bunu yasaklayan 'TSE Tüzüğü' (999/2001 sayılı Tüzüğün Madde 7 ve Ek IV'ü) 'besleme yasağı kuralları' ile yasaklanmıştır. Bununla birlikte, böcek proteinlerinin su

ürünleri yetiştiriciliğinde sürdürülemez geleneksel yem kaynaklarının yerini alması için ümit verici potansiyeli göz önüne alındığında, AB mevzuatı son zamanlarda değiştirilmiştir. Avrupa Komisyonu, Temmuz 2017'den itibaren su ürünleri yetiştiriciliğinde BSF de dahil olmak üzere yedi böcek türünden elde edilen işlenmiş proteinlerin kullanılmasına izin vererek yem yasağı kurallarını kısmen gevşeten Komisyon Tüzüğü (AB) 2017/893'ü kabul etti. Bununla birlikte, yem üretimi için yetiştirilen böcekler, AT Genel Yönetmeliği 1069/2009'a göre çiftlik hayvanları olarak kabul edilir, bu da "genel AB yem kuralları" na tabi olduklarını ve dolayısıyla yalnızca hayvan yemi için yetkilendirilmiş malzemelerle beslenebileceklerini ima eder. Sonuç olarak, AB düzenlemesi, yem böceklerini örneğin gübre ve yiyecek içecek atıkları ile beslenmesini yasaklamaktadır. Bu nedenle, geleneksel atık akımlarının çoğu, AB tarafından organik atık arıtımında kullanılan BSF larvalarının satışına uygun substratlar olarak kabul edilmemektedir. Buna ek olarak, hayvanlarını beslemek için işlenmiş böcek proteininin kullanımı AB yönetmeliği tarafından balık dışında hala yasaktır (Cicková ve diğerleri 2015; FEFAC 2017; IPIFF 2017).

Yasal sınırlamalar, esas olarak, hayvan yemi olarak kullanılan böceklerle ilişkili toksisite, alerjenite ve hastalıkların transferabilitesi hakkında sınırlı bilgi ve veriden kaynaklanmaktadır (van der Spiegel ve ark.2013; Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi 2015; Smetana ve ark.2016). Bazı merkezler politika yapıcılar için daha bilimsel kanıtlar sağlamak amacıyla organik atıkların dönüştürülmesinden elde edilen larva proteinleri ile hayvanların beslenmesinin güvenliğini araştırmaya devam etmektedir (PROteINSECT 2016)

5.4 Sosyal Boyutlar

Tablo 23, BSF teknolojisi ile ilişkili temel sosyal konuları ve faydaları vurgulamaktadır.

TABLE 23. SOCIAL ISSUES AND BENEFITS ASSOCIATED WITH THE BSF TECHNOLOGY.

Aspect	Description	References
Public health	The BSF is a non-pest insect which does not constitute a vector of disease. BSF repel other common fly species, such as house flies. Exceptional cases of myiasis caused by BSF larvae have been reported in tropical countries. BSF larvae reduce some pathogens in the waste. Release of volatile by-products and noxious gases during the bioconversion of organic waste by BSF larvae could constitute a health hazard for the staff working at BSF facilities.	Furman et al. 1959; Sheppard 1983; Bradley and Sheppard 1984; Sheppard et al. 1994; Adler and Brancato 1995; Lee et al. 1995; Newton et al. 1995; Sheppard et al. 1998; González and Oliva 2009; Diener 2010; Olivier et al. 2011; Caruso et al. 2013; van Huis et al. 2013; Cicková et al. 2015; Oliveira et al. 2015
Social benefits	BSF technology could provide livelihood opportunities for farmers and entrepreneurs all over the world, and especially in developing countries. By yielding protein-rich larvae that can be used as animal feed and a waste residue that can act as a fertilizer, BSF technology could contribute to food security.	Diener et al. 2011, 2015a; Makkar et al. 2014; van Huis et al. 2013
Social acceptance	According to several studies, consumers seem to have a positive attitude towards the inclusion of BSF larvae-based ingredients in the diet of farmed animals and are willing to eat meat from animals that are fed with BSF larvae ingredients. However, consumer acceptance may depend on the type of waste used to feed the larvae.	FERA 2016; PROteINSECT 2016; Popoff et al. 2017

TABLE 24. COMPARISON BETWEEN THE BSF TECHNOLOGY AND OTHER ORGANIC WASTE TREATMENT OPTIONS.

Aspect	The BSF treatment compared to other organic valorization techniques
Feedstock	Besides materials exhibiting a high lignocellulosic content, most organic waste can be processed through the BSF technology. In addition, nutrient balance and pH are not essential. Thus, the BSF technology is more flexible in terms of input compared to anaerobic digestion and vermicomposting, for which feedstocks with a narrower range of C/N balance are suitable.
Resource requirements	When using vertical stacking, the BSF process requires little space (e.g. ~150 m ² tonne ⁻¹ of daily input in medium-scale facilities and 40-50 m ² tonne ⁻¹ of daily input in large-scale facilities) compared to composting (200-250 m ² tonne ⁻¹ of daily input) and vermicomposting (800 m ² tonne ⁻¹ of daily input or 200 m ² tonne ⁻¹ of daily input with vertical stacking). Energy requirements depend on climatic conditions. In Northern countries, the process may be relatively energy-consuming compared to other organic waste treatments. On the other hand, in tropical climates, no environmental control and thus much less energy is required. However, drying the larvae, depending on the drying technology used, may significantly increase the energy requirements of the BSF waste treatment.
Processing time	Waste processing time by the BSF is very short (10 to 14 days, based on the case studies) compared to composting (> 90 days for mature compost), vermicomposting (>45 to 60 days) and anaerobic digestion (30 days). However, the waste residue obtained may need to undergo a maturation phase.
Hygienization	Like vermicomposting and anaerobic digestion, the BSF treatment does not allow complete inactivation of pathogens, while composting does thanks to high temperatures inside the compost piles.
Emissions	Compared to composting, the BSF bioconversion process results in 70% less CO ₂ emissions. In addition, there is no risk of CH ₄ leakages, like there is for anaerobic digestion. Finally, the BSF process is not odorous as BSF larvae reduce and sometimes even eliminate the foul odor from decomposing organic matter.
Skills requirement	Like composting and vermicomposting, the BSF treatment only requires simple labor skills, while anaerobic digestion entails technical skills and trained technicians.
Products (value and yield)	An advantage of the BSF process is that it yields two valuable products. In addition, larvae-derived feed products are associated with a potential significant market demand from the animal production industry. Studies conducted in different contexts estimated that larvae-based feed products could exhibit a market value comparable or slightly lower than biogas, but significantly higher than compost. Hence, the BSF waste treatment may have a greater potential to incentivize waste management, compared to composting.
Investment costs	Compared to anaerobic digestion, the BSF waste treatment is a low-cost technology.
Regulatory hurdles	Regulatory hurdles related to the use of insect-based feeds in animal production are probably the main drawback associated with the BSF technology, while regulation is a less important issue for other treatment methods.
Maturity of the technology	Compared to the other treatment methods, the BSF technology is relatively immature and cases of implementation are still scarce.

Sources: Based on Diener et al. 2014; Komakech et al. 2015; Lalander et al. 2017; Lohri et al. 2017; Perednia et al. 2017; and data from the case studies.

5.4.1 Halk Sağlığı

Literatürde bildirilen BSF teknolojisinin en önemli faydalarından biri halk sağlığı ile ilgilidir. Organik atıklar için bir arıtma çözümü olarak BSF teknolojisi, yönetilmeyen organik atıkların neden olduğu hastalık oluşumunu azaltmaya katkıda bulunur. Ancak en önemlisi, literatürde BSF'nin, bir hastalık vektörü oluşturmayan ve onu insan sağlığına zararsız hale getiren, zararlı olmayan bir böcek olduğu vurgulanmaktadır. Bunun nedeni, yetişkin BSF'nin ısırarak için bir stinger veya aęza sahip olmamasıdır. Ek olarak, yetişkin sinek beslenmediği için, bir gıda kaynağından diğerine atlamaz ve insan yaşam alanlarından etkilenmez. Bununla birlikte, BSF larvalarının bulunduğu olgun ve yıkanmamış meyvelerin tüketiminden kaynaklanan istisnai miyazis vakaları) tropik bölgelerde bulunmaktadır. Adler ve Brancato (1995), Lee ve ark. (1995) ve González ve Oliva (2009).

Ayrıca BSF, özellikle gelişmekte olan ülkelerde iyi bilinen hastalık vektörleri olan ev sineği gibi diğer yaygın türleri azaltmaktadır. Özellikle, BSF'nin, insanlara rahatsız edici olmayan ancak diğer türleri uzaklaştıran karakteristik bir koku yayarak ev sineğinin yumurtlanmasını engellediği bildirilmektedir (Furman ve ark. 1959; Sheppard 1983; Bradley ve Sheppard 1984; Sheppard ve ark. 1994, 1998 ; Newton ve diğerleri 1995; Diener 2010; Olivier ve diğerleri 2011; Caruso ve diğerleri 2013; van Huis ve diğerleri 2013; Oliveira ve diğerleri 2015). Son olarak, çalışmalar BSF değerlendirme sürecinin daha önce tartışıldığı gibi organik atıklardaki bazı patojenleri azalttığını göstermiştir. Diğer yandan, Cicková ve ark. (2015), BSF larvaları tarafından organik atıkların biyolojik olarak dönüştürülmesi sırasında uçucu yan ürünlerin ve zararlı gazların, özellikle de amonyak salınımının, BSF atık arıtma tesislerinde çalışan personel için bir sağlık tehlikesi olabileceğini belirtmiştir. Bu bağlamda, Lalander ve ark. (2015) büyük ölçekli tesislerin, dışarı çıkan havayı yoğunlaştırarak amonyak emisyonlarını düşük tutabileceğini öne sürmüştür. BSF teknolojisi ile ilişkili olarak halk sağlığı ile ilgili yararları ve olumsuz etkileri Tablo 23'te özetlenmiştir.

5.4.2 Sosyal Faydalar

BSF süreci yoluyla geri kazanılan besinler, yerel çiftçiler tarafından geçimlerini artırabilecek verimliliği sağlamak için gübre olarak kullanılabilir. Organik atıklar için böyle bir muamele, gençler, kadınlar veya marjinal insanlar da dahil olmak üzere dezavantajlı kesimler için istihdam olanakları yaratabilir (Diener ve ark.2011; Nikiema ve ark.2014). Buna ek olarak, organik atıkların değerlendirilmesi için BSF teknolojisi, düşük ve orta gelirli ülkelerde küçük girişimciler için yeni nişler yaratabilir. Diener ve diğ. (2015a), BSF teknolojisinin, Afrika'nın kırsal kesiminde faaliyet gösteren orta ölçekli bir domuz üreticisi olan bir Afrika kentinin hareketli bir şehir merkezinde, umumi tuvalet girişimcisi gibi dünyanın her yerindeki çok sayıda kişi için gelir kaynağı olabileceğini belirtti.

Kuzey Amerika veya Asya gıda pazarında bir organik atık yöneticisi, BSF teknolojisini kullanarak, enerji açısından zengin larvaların satışından ek gelir elde edebilir, gelişmekte olan ülkelerdeki çiftçiler

ve küçük girişimciler piyasa dalgalanmalarına ve doğal tehlikelere karşı ekonomik dayanıklılıklarını artırabilirler (Diener ve ark.2011). Bazı yazarlar, BSF larvalarının hayvan yemi olarak ve atık kalıntısının organik bir gübre olarak kullanılmasının gıda güvenliğini destekleyebileceğini vurgulamıştır (Makkar ve ark. 2014; van Huis ve ark. 2013)

5.4.3 Sosyal Kabul

Genellikle rahatsız edici olarak değerlendirilir. Bununla birlikte, bazı kültürler böceklerin yararlarını bilir, özellikle bir protein kaynağı olarak kabul ederler (Barry 2004; van Huis ve ark. 2013). BSF teknolojisinin sosyal kabulünü teşvik etmek için Barry (2004) ABD'de bir çocuk kitabı ve beşinci sınıf müfredatı dahil olmak üzere eğitim materyalleri tasarlamıştır. Buna ek olarak, AB tarafından finanse edilen PROteINSECT projesi, 70'den fazla ülkeden 2.400 tüketicinin katıldığı ve hayvan yemlerinde böceklerin protein kaynağı olarak kullanılmasına yönelik yüksek düzeyde sosyal kabul gösteren bir tüketici algısı anketi gerçekleştirdi (PROteINSECT 2016). Ankete katılanların yaklaşık% 70'i, böceklerin balık dahil hayvanları beslemek için uygun bir protein kaynağı olduğunu düşünmüş ve bunların % 70'i de böcek bazlı bileşenlerle beslenen hayvanlardan balık veya et yemeye istekli olduklarını belirtmiştir. Popoff ve diğ. (2017) ayrıca, İngiltere'de İskoç somonunu beslemek için hem tüketicilerin hem de üreticilerin böcek bazlı bileşenlerin kullanımına yönelik tutumunu araştırdı. 180 katılımcının sadece % 10'unun somon yemine böcek proteinleri dahil edilmesine karşı olduğunu gözlemlediler. Buna ek olarak, katılımcıların % 75'i somonun böcek ile beslenmesinin satın alma istekliliklerini etkilemeyeceğini iddia etmiştir. Anket sonuçları, hayvan veya insan atığı üzerinde yetiştirilen böcek için farklı olabilir. Öte yandan, süpermarket gıda atıkları ve sebze atıkları larvaları beslemek için tercih edilen substratlardır. Görüşülen üreticiler, güvenli oldukları ve güvenilir bir şekilde tedarik edildikleri sürece böcek bazlı yem katkı maddelerini kullanma konusundaki ilgilerini de dile getirdiler (Popoff ve ark. 2017). Tablo 24'te BSF atık arıtma yöntemi, kompostlama, anaerobik sindirim ve vermikompostlama gibi diğer organik atık değerlendirme teknikleriyle karşılaştırılmıştır.

6. BSF Teknolojilerinin Uygulanması: Vaka Çalışmaları

6.1 Genel Bakış

Günümüzde BSF teknolojisinin uygulanmasına ilişkin iki ana eğilim ayırt edilebilir. Bir yandan, Güney Afrika, Kanada, ABD, Hollanda ve Çin'de halen yüzlerce tona kadar atık işleyen ve düzinelerce ton larva bazlı yem maddesi üreten büyük ölçekli sanayi tesisleri işletilmektedir. Bu tesisler, potansiyel olarak büyük pazar fırsatlarından yararlanarak, öncelikle hayvan yemi endüstrisi için protein üretimine odaklanmaktadır (Diener ve ark. 2015a). Güney Afrika'daki AgriProtein ve Kanada'daki Enterra Feed örnekleri bu bölümde sunulmaktadır. Öte yandan, küçük ölçekli birçok BSF sistemi, öncelikle atık arıtma yönüyle motive olan hevesli bireyler tarafından hane halkı düzeyinde uygulanmıştır. Bu bağlamda, deneyimlerin ve tasarımların paylaşıldığı çeşitli bloglar ve tartışma

forumları internette bulunabilir (örn. blacksoldier.flyfarming.com). Spektrumun ortasında, günde yüzlerce kilogram ila 10 ton aralığında atık işleyen orta ölçekli BSF tesisleri çok azdır (Diener ve diğerleri 2015a; Zurbrügg ve diğerleri 2018). Buna ek olarak, var olan az sayıda tesis Endonezya'da FORWARD ve Gana'da Ento-Prize (bu bölümde sunulan vakalar) gibi araştırma projelerinin bir parçası olarak inşa edilmiş ve henüz kârlılığa ulaşmayı başaramamıştır (Murray 2016; B. Dortmans, pers. comm., 28 Eylül 2017). Bu boşluğu doldurmak ve hem verimli bir atık yönetimi hem de protein üretmek için Diener ve ark. (2015a), temelde protein üretimine odaklanan, yumurta üretiminde merkezi büyük ölçekli tesislerin avantajlarını merkezi olmayan atık arıtma ağı ile birleştirerek ve atık kaynaklarının yakınında bulunan birimlerle çalışarak, merkezi bir BSF yumurtası üretme, yetiştirme ve larva işleme tesisi ile merkezi olmayan atık yönetim sistemlerinin yararlarını birleştiren yarı merkezli bir organizasyon önerdi. Benzer bir organizasyon Campbell (2013) tarafından BSF teknolojisinin hayvancılık yapan çiftçiler için gübre yönetiminin bir parçası olarak erişilebilir olmasını sağlamak için önerilmiştir. Tablo 25, bu analizin bir parçası olarak geliştirilen vaka çalışmalarına genel bir bakış sunmaktadır.

TABLE 25. OVERVIEW OF AND COMPARISON BETWEEN THE CASE STUDIES DOCUMENTED.

Case study	FORWARD	AgriProtein	Ento-Prise	Enterra Feed
Location	Indonesia	South Africa	Ghana	Canada
Context	Lower middle-income country, tropical climate	Upper middle-income country, temperate climate	Lower middle-income country, tropical climate	High-income country, temperate climate
Case type	Research project	Commercial venture	Research project	Commercial venture
Scale	Medium scale	Large scale	Medium scale	Large scale
Waste input type	Market waste	Food industry, restaurant and municipal organic wastes	Market waste	Preconsumer food waste
Waste-processing capacity	3 tonnes of waste day ⁻¹	250 tonnes of waste day ⁻¹	0.33 tonnes of waste day ⁻¹	100 tonnes of waste day ⁻¹
Products	Whole and dried larvae, biofertilizer and BSF breeding starter kit	Dried and defatted BSF larvae, larvae oil and biofertilizer	Dried larvae and biofertilizer	Whole dried larvae, larvae meal, larvae oil and biofertilizer
Production capacity	0.2 tonne (WW) of grown larvae day ⁻¹	7 tonnes of insect meal, 3 tonnes of oil and 20 tonnes of biofertilizer day ⁻¹	About 0.006 tonnes of dried larvae day ⁻¹ and 0.075 tonnes of biofertilizer day ⁻¹	7 tonnes day ⁻¹ of protein and oil feed ingredients and 8 tonnes day ⁻¹ of biofertilizer
Facility area	424 m ² (~140 m ² to process 1 tonne day ⁻¹)	9,000 m ² (~40 m ² to process 1 tonne day ⁻¹)	212 m ² (~640 m ² to process 1 tonne day ⁻¹)	5,300 m ² (~50 m ² to process 1 tonne day ⁻¹)
Number of operators /employees	3 operators	90 employees (0.4 employees to process 1 tonne day ⁻¹)	1 operator (3 operators to process 1 tonne day ⁻¹)	32 employees (0.3 employees to process 1 tonne day ⁻¹)
Construction cost of the facility	Not available (already existing facility)	USD 8 million (~USD 32,000 tonne ⁻¹ of daily waste treatment capacity)	USD 6,090 (~USD 20,000 tonne ⁻¹ of daily waste treatment capacity)	USD 7.5 million (~USD 75,000 tonne ⁻¹ of daily waste treatment capacity)
Waste processing time	12 days	10 days	10 days	14 days
References for each case study	Bucher and Peterhans 2016; Versteppen et al. 2016; Wijaya 2016; B Dortmans, pers. comm., September 28, 2017; Dortmans et al. 2017; Erwig 2017a, 2017b; World Bank 2017b; Zurbügg et al. 2018	Hoffman 2013; Iwacha 2014; Pozzabon 2015; Burwood-Taylor 2016; van Jaarsveldt 2016; AgriProtein 2017a, 2017b, 2017c, 2017d, 2017e, 2017f, 2017g; Grant-Marshall 2017; World Bank 2017a, 2017c	Devic et al. 2014, 2017; Impraim et al. 2014; Adoku 2015; Maquart et al. 2015; Mezah et al. 2015; Murray and Newton 2015; AFO 2016; FAO 2016; Murray 2016; Popoff and Maquart 2016a, 2016b; E.K. Boadi, pers. comm., October 16, 2017; P.O. Maquart, pers. comm., October 26, 2017; Oulliam et al. 2017	Enterra 2013, 2015, 2016a, 2016b, 2017a, 2017b, 2017c, 2017d; Marchant 2015; NZWC 2015; Laung 2016, 2017; Nature 2016; Tetra Tech 2016; RCBC 2017

6.2 Vaka Çalışması 1: FOWARD

Organik Atıklardan Kalkınma İçin Geri Dönüşüm'e (FORWARD), İsviçre Federal Su Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü (Eawag) tarafından yönetilen, kâr amacı gütmeyen bir araştırma ve geliştirme (AR-GE) projesidir. Endonezya Ekonomik İşler Sekreteryası SECO, Endonezya Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (PU-PeRa) ile yapılan bir anlaşma kapsamında finanse edilmektedir. Bu girişim, orta büyüklükteki Endonezya şehirlerinde belediye organik katı atıklarının yönetimi için entegre stratejiler ve teknolojilere odaklanmaktadır. Endonezya'daki orta büyüklükteki şehirlerde belediye organik katı atık değerlendirilmesi için yerel pazar fırsatlarını araştırmaktadır. Bu projenin bir parçası olarak, uygulamalı bir araştırma tesisi, ayrıca eğitim merkezi olarak hareket etmek üzere bir pilot BSF atık arıtma tesisi inşa edilmiştir. Bu tesis şu anda Doğu Java'daki Sidoarjo'nun toptan pazarı Puspa Agro'da faaliyet gösteriyor (Tablo 26). FORWARD, hijyenik yönleri, BSF atık arıtma ünitelerinin tasarımını ve işletimini, ürün kalitesini (yem ve gübre), yem kalitesi ve ürün güvenliğine ilişkin hasat sonrası işlemeyi, iş modellerini optimize etme yollarına odaklanan başka bir araştırma projesi olan SPROUT tarafından desteklenmiştir. SPROUT ayrıca BSF atık işleminin diğer biyolojik arıtma seçeneklerine kıyasla çevresel etkisini değerlendirmeye çalışmıştır. SPROUT, AB programı ECO-INNOVERA, İsveç Araştırma Konseyi Formları, Çevre FOEN için İsviçre Federal Ofisi ve Pacovis AG (Zurbrugg ve ark. 2018) aracılığıyla finanse edilmektedir.

6.2.1 Bağlam

Endonezya, Güneydoğu Asya'daki en büyük ekonomilerden biridir. Etkileyici ekonomik büyüme gösteren orta gelirli bir ülkedir. Bu girişimin operasyon alanı, dünyanın en yoğun nüfusa sahip adası Java'da bulunan Sidoarjo'dadır. Endonezya'nın ikinci büyük şehri Surabaya, metropol bölgesinde bulunan 2 milyon nüfuslu orta büyüklükte bir şehirdir. Sidoarjo'da, 2013 yılı günlük evsel katı atık üretiminin yaklaşık % 25'inden azı toplanabilir ve yaklaşık 1.600 tondur. Ayrıca, Sidoarjo'nun nüfusu arttıkça atık üretiminin de artması beklenmektedir. Endonezya'da, organik atık fraksiyonu üretilen toplam kentsel katı atığın yaklaşık % 60'ını oluşturmaktadır. Endonezya'da, belediye katı atık yönetimi, azaltma, geri kazanma ve geri dönüşüm hedeflerini belirten 18/2008 yasası ile ulusal düzeyde düzenlenmektedir. Ayrıca, işlenmiş BSF larvalarının Endonezya'daki hayvanlara verilmesi için yasal engeller yoktur. Aslında, Endonezya hükümeti genellikle yerel protein üretimini teşvik etmek için hayvan yemi ithalatını sınırlamakta ve şu anda az gelişmiş olan Endonezya hayvan üretim endüstrisini (su ürünleri yetiştiriciliği ve et üretimi) genişletmek için yerel olarak üretilen proteine artırmaya çalışmaktadır. Bugün Endonezya hala, hayvansal üretimde kullanılan ve toplam üretim maliyetinin % 80'ini oluşturan yemlerin çoğunu (soya fasulyesi ununun % 80'i ve balık ununun % 55'i) ithal etmektedir. Kompost ile ilgili olarak yapılan bir piyasa analizi, ev bahçıvan pazarında satılabileceğini, ancak oldukça rekabetçi bir pazar olduğunu göstermiştir.

6.2.2 FORWARD BSF Tesisinin Teknoloji ve Proses Üretim özellikleri

Tablo 26'da özetlenmiştir.

TABLE 26. THE FORWARD BSF FACILITY IN EAST JAVA: PRODUCTION CHARACTERISTICS.

General	
Waste input type	Market waste (mostly fruit and vegetable)
Waste-processing capacity	3 tonnes of organic waste day ⁻¹
Products	Animal feed, compost and starter kits
Production capacity	Unknown
Status of validation	Proof of concept
Preprocessing	
Preprocessing techniques	Rough sorting, waste particle size reduction through shredding, weighting and, if required, dewatering via a passive dewatering system consisting of a bucket in which a cloth bag filled with the waste is placed
Feedstock characteristics after preprocessing	Moisture content of the waste: 75% (WW); particle size: 0.5-1 cm
Waste treatment	
Configuration	Reactors consist of individual trays that can be handled manually by operators. To save space, they are stacked upon each other and ventilation frames are placed in between levels to allow air flow
Larval density	4 larvae cm ⁻²
Feeding rate	125 mg ⁻¹ larva ⁻¹ day (WW)
Feeding regime	Incremental: 3 feedings of equal amounts on the 1 st , 5 th and 8 th day of treatment
Waste load	5 kg m ⁻²
Larval feeding period	12 days
Harvesting and post-treatment	
Harvesting	Manual harvesting using flat screens, collection buckets and strainer spoons
Sanitization	Larvae placed in boiling water for 1 minute
Postprocessing	Larvae: sun drying; waste residue: composting
Rearing	
Egg production	Adult flies bred in netted cages and provided with oviposition media which are collected each day and placed above a container filled with a mixture of chicken feed and water to hatch
Young larvae production	Neonate larvae kept 5 days in the nursery before being used for waste treatment. At full capacity, about 2 million young larvae can be produced daily
Colony perpetuation	1% of young larvae are kept in the rearing unit. They are fed a mixture of chicken feed and water for 2.5 weeks. A self-harvesting system is used to collect prepupae which are placed in dark cages to pupate. Emerged flies are transferred to the netted cages by connecting them to the dark cages and using artificial light

Note: Data were collected October - November 2017

6.2.3 Ekonomik Geçerlilik ve Etkiler

Araştırma projesi başlangıçta SECO tarafından finanse edildi, ancak fonlama miktarı ve BSF tesisi için kullanılan oran hakkında bilgi mevcut değildi. Tesis bugün tesis faaliyetlerini sürdürmek için dış finansmana güvenmemektedir. Ancak, temel gelir kaynağı, BSF teknolojisi hakkında bilgi edinmek isteyen çok sayıda kişiye eğitim paketi sağlamasıdır. Eğitim faaliyeti olmadan, yetersiz atık tedariki nedeniyle tesisin işletilmesi ekonomik olarak uygun olmayacaktır. Şu anda, operasyonun karlılığını sağlamak için yeterli olmayan miktarda, yalnızca günde 0.3-0.5 ton atık işlemektedir. Ne yazık ki, tesis bu şekilde kapasite altında çalışarak, atık arıtma tesisi olarak çevresel faydalardan daha fazla çevresel zararlara neden olabilir. Proje yerel istihdam yaratmıştır. Tam kapasitede, tam zamanlı üç çalışanın BSF tesisini işletmesi gerekmektedir. Başlıca başarı faktörleri, hem ulusal hem de yerel düzeylerde kurumsal destek, yeterli finansman, yerel araştırmacılarla ortaklıklar, BSF yetiştirmeye elverişli bir iklim, nispeten yüksek piyasa değeri ve böcek proteini için piyasa talebinin yanı sıra elverişli bir yasama ve politika ortamına sahip olmasıdır.

6.3 Örnek Olay İncelemesi 2: AgriProtein

AgriProtein, dünyanın ilk endüstriyel BSF tabanlı yem üreticisi ve şu anda dünyanın en büyük BSF şirketidir. 2008 yılında Güney Afrika'da kuruldu. İki yıllık Ar-Ge çalışmalarının ardından 2010 yılında Elsenburg'da bir BSF pilot tesisi kuruldu. Daha sonra 2014 yılında Philippi'de (Cape Town) ilk ticari ölçekli 9.000 m² ticari tesis kuruldu. AgriProtein şimdi Güney Afrika'da ikinci bir ticari BSF tesisi kurmak için fon toplamaktadır. Ayrıca AgriProtein, Kuzey Amerika, Avrupa, Avustralya, Asya ve Orta Doğu'da her biri 250 ton atık/gün kapasiteli 2027 yılına kadar 100 BSF tesisi kurarak teknolojisini yaygınlaştırmayı hedeflemektedir.

6.3.1 Bağlam

Güney Afrika, Afrika'nın en büyük ekonomilerinden biridir. Ülke 1990'ların ortalarında demokrasiye geçişinden bu yana, son yıllarda yavaşlamakla birlikte, ülke nüfusunun refahını artırmaya yönelik önemli ilerlemeler kaydetmiştir. Ülke hala, özellikle gençler arasında yüksek işsizlik oranlarıyla karşı karşıyadır ve bu da iş ve girişimcilik fırsatlarının oluşturulmasını öncelik haline getirmektedir. Güney Afrika hala dünyanın en yüksek eşitsizlik oranlarından birini sergileyen ikili bir ekonomidir. Güney Afrika'da, üretilen atıkların% 90'ı katı atıklardır ve hızlı kentleşme, atıkların toprak filtreleri için sınırlı arazi mevcudiyeti ile sonuçlanmıştır. Bu durum atıkların toprak filtrelerinden geçirilmesini, özellikle de Güney Afrika'da üretilen atığın % 40'ını temsil eden organik fraksiyondan uzaklaştırılmasını gerekli kılmıştır. Bu durum Güney Afrika politikalarında, atıkların önlenmesi, azaltılması, yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve geri kazanımı yoluyla arazilere serilen atıklardan ayrıştırılmasını teşvik eden 2008 tarihli Atık Yasası 2008 (2008 59 sayılı Yasası) ile ele alınmıştır. Özellikle hızla büyüyen Güney Afrika su ürünleri yetiştiriciliği sektöründe yerel olarak üretilen hayvan yemi ürünlerine duyulan ihtiyaç artmıştır. Bununla birlikte, Afrika, dünya çapında üretilen hayvan yemi ürünlerinin % 1'inden daha azını üretmektedir. Bu, iç talebi karşılamak için yeterli olmadığından, Afrika hayvansal üretim sektörü büyük ölçüde ABD, Avrupa, Güney Amerika ve Asya'dan ithal edilen yemlere dayanmaktadır.

6.3.2 Teknoloji ve Proses

AgriProtein tesisinin üretim özellikleri Tablo 27'de özetlenmiştir.

TABLE 27. THE AGRIPROTEIN FACILITY IN CAPE TOWN: PRODUCTION CHARACTERISTICS.

General	
Waste input type	Food industry, restaurant and municipal organic wastes (including animal manure, slaughterhouse waste, food waste, etc.)
Waste-processing capacity	250 tonnes of organic waste daily
Products	Dried and defatted BSF larvae, oil extracted from whole dried larvae and biofertilizer
Production capacity	7 tonnes of larvae meal, 3 tonnes of oil and 20 tonnes of biofertilizer daily
Status of validation	Commercially proven
Preprocessing	
Preprocessing techniques	Sorting, blending, crushing, pumping and circulating the paste obtained, so-called 'LarvaeLunch'
Waste treatment	
Configuration	Waste processed in large trays stacked vertically and in controlled climatic conditions
Larval feeding period	10 days
Harvesting and post-treatment techniques	
Harvesting	Unknown
Sanitization	Unknown
Postprocessing	Unknown
Rearing	
Egg production	Egg production is ensured by 8.5 billion flies bred in netted cages. To optimize production, AgriProtein uses specific light wavelengths, fly sexing techniques and selects the most productive male and female flies
Colony perpetuation	Rearing techniques used for the other lifecycle stages are not specified

Note: Data were collected October - November 2017

AgriProtein iş sağlar (90 tam zamanlı personel). Özellikle Cape Town'un dezavantajlı bir bölgesi olan Philippi'de, ilk ticari ölçekli tesisini başlattığında yeni bir istihdam alanı yaratmıştır. Daha fazla iş sağlamak için AgriProtein, Philippi tesisinin bazı birimlerinde kasıtlı olarak otomasyonu kısıtlamıştır. Buna ek olarak, tesis personelinin % 60'ı kadındır. Günde 250 ton atık kapasiteli tesis 8 milyon ABD dolarına mal olmuştur, ancak operasyonel maliyetler nispeten düşük olduğundan yatırım hızlı bir şekilde kendini amorti etmektedir. Ancak, operasyonel maliyetlere ilişkin veriler mevcut değildir. AgriProtein ürünlerinin Güney Afrika'da satışı onaylanmıştır ancak olumsuz düzenlemeler nedeniyle Avrupa'da henüz onaylanmamıştır. Günde 250 ton atığın işlenmesi, arazi sahalarından yılda 90.000 ton organik atığın ayrılmasını sağlar. 1 ton larva küspesinin kullanılması 3 ton balığın okyanusta kalmasını anlamına gelmektedir. Buna ek olarak AgriProtein, 1 ton larva küspesi üretmenin aynı miktarda balık unu üretilmesi ile kıyaslandığında fosil yakıt tüketimini azaltarak, balıkların okyanuslarda kalmasını sağlayarak, karbon emisyonunu düşürerek ton başına 2250 dolarlık çevre yararı sağladığını ileri sürmektedir. Bununla birlikte, AgriProtein farklı kaynaklardan çok çeşitli organik atıkları işlediğinden, larva ürünlerinin kontaminasyonu riski daha yüksektir. Anahtar başarı faktörleri başlangıçtaki yoğun Ar-Ge çabaları, laboratuvar ölçeğinden endüstriyel ölçeğe aşamalı olarak geçişi ve akademik ve ticari ortakların finansman fırsatlarına ve ağlarına erişmesidir.

6.4 Örnek Olay İncelemesi 3: Ento-Prise,

Tarımsal Teknoloji Transferi Araştırma Fonu tarafından desteklenen ve 7 ülkeden 12 ortak tarafından kurulan AB destekli bir proje olan PROteINSECT bir araştırma projesidir. Gıda ve Çevre Araştırma Ajansı (FERA) tarafından koordine edilmektedir. Gana'daki küçük çiftçilere fayda sağlamak için organik atıklara yönelik ticari bir BSF biyolojik dönüşüm sistemi kurmayı amaçlamaktadır. 2014-2016 yılları arasında gerçekleştirilen Ento-Prize projesinin bir parçası olarak, Gana Sulama Geliştirme İdaresi sitesindeki Ashaiman'da (Büyük Accra) bir BSF deneysel pilot tesisi başlatılmış ve ardından Adenta'da (Büyük Accra) Bilimsel Konsey ve Endüstriyel Araştırma Hayvan Araştırmaları Enstitüsünde bir tesis inşa edilmiştir.

6.4.1 Bağlam

Batı Afrika'da hızla büyüyen ve kentleşen orta gelirli bir ülke olan Gana, aşağıdakiler de dahil olmak üzere bazı önemli zorluklarla karşı karşıyadır:

- **Atık yönetim sisteminin iyileştirilmesi:** Gana'nın ana bölgesinde şehirler, belediye katı atıklarının% 20 ila 40'ı toplanmazken, belediye atıklarının % 60'ı organik niteliktedir;
- **Artan gıda talebini karşılamak için tarımsal verimliliğini artırmak:** Tarım sektörünün gelişimi (mahsul yetiştiriciliği, hayvancılık ve su ürünleri yetiştiriciliği dahil), uygun fiyatlı tarım girdilerinin sınırlı bulunabilirliği nedeni ile zorlanmaktadır;
- **Geçim olanakları sağlama:** Nüfusun dörtte birinden fazlası hala günde 1.25 ABD doları yoksulluk sınırı altında yaşamaktadır.

Büyüyen Ganalı su ürünleri yetiştiriciliği sektörünün, yerel olarak üretilen yem bileşenlerinin pahalı ithal yem ürünlerinin yerini alması için önemli bir pazar talebi vardır. Yem maliyetleri sektörün üretim maliyetinin % 60'ına tekabül ediyor. Gana'daki hayvansal üretim endüstrisi 1992'den beri Gıda ve İlaç Kanunu (PNDCL 305B) tarafından düzenlenmektedir, ancak bu mevzuat hayvan yemleri ile ilgili herhangi bir yasa içermemektedir. Bu nedenle, hiç bir yasa Gana'daki hayvanları beslemek için larvalarının kullanımını dışlamaz. 2010 yılında revize edilen 1999 Çevresel Sağlık Politikası, atık azaltma, yeniden kullanma, geri dönüşüm ve geri kazanımla ilgili hedefleri belirtmektedir. Buna ek olarak, kentsel pazarlara tedarik sağlamak için başta meyve ve sebze yetiştiren kent çevresinde yer alan bölgelerdeki çiftçiler, mahsul verimini artırmak ve tükenmiş toprağın verimliliğini artırmak için yerel organik gübre ihtiyacı duymaktadır.

6.4.2 Teknoloji ve Sürec

Ento-Prize projesinin üretim özellikleri özetlenmiştir. Tablo 28'de verilmiştir.

TABLE 28. THE ENTO-PRIZE PROJECT IN GREATER ACCRA: PRODUCTION CHARACTERISTICS.

General	
Waste input type	Fruit and vegetable waste
Waste-processing capacity	About 0.3 tonnes of waste daily
Products	Dried larvae and compost
Production capacity	About 0.006 tonnes of dried larvae daily (0.038 tonnes of fresh larvae) and 0.075 tonnes of compost daily
Status of validation	Proof of concept
Preprocessing	
Preprocessing techniques	Sorting, blending, crushing, pumping and circulating the paste obtained, so-called 'LarvaeLunch'
Waste treatment	
Configuration	2 x 2 m concrete basins fitted with a drainage system
Larval feeding period	10 days
Harvesting and post-treatment techniques	
Harvesting	Passive sieving system that consists of a metallic mesh fitted on a wooden frame placed on a metallic tray
Sanitization and postprocessing	The harvested larvae are placed in sawdust for one night to make them empty their guts before being killed and dried in a gas oven at 50-60 °C for 6 hours
Rearing	
Egg production	Mating and oviposition occur in netted cages. Eggs laid by females on corrugated cardboard or banana leaves are harvested manually and incubated in small boxes containing wheat bran
Colony perpetuation	About 30% of young larvae are kept in the rearing unit in metallic trays filled with wheat bran for ten days. They are then transferred into concrete bays fitted with a self-harvesting system (30° slope that ends in a trench). Prepupae harvested from the trench are placed in plastic boxes fitted with fine mesh and containing sawdust to pupate

Note: Data were collected October - November 2017

6.4.3 Ekonomik Geçerlilik ve Etkiler

Ento-Prize'in tesisi, ürünler henüz ticarileştirilmediği için finansal olarak yaşayabilir değildir. Sistemin basit bir maliyet analizi, sistemin mevcut verimliliğine bağlı olarak, ürünün satışından elde edilen gelirin işletme maliyetlerini karşılamak için yetersiz olduğunu göstermiştir. 0,3 ton işleme yapan bir atık işleme kapasitesi ile çalıştırmak için bir operatöre ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, hiçbir operatör istihdam edilmezse, yani eğer çiftçiler tesisi işletiyorlarsa yıllık 1.920 ABD Doları kar elde edebilirler bu da ilk yatırımın dört yılda geri ödenmesi anlamına gelir. Ancak çalışmalar, BSF teknolojisinin küçük ölçekli çiftçiler tarafından benimsenmesini sağlamak için üretkenliğin daha da optimize edilmesi gerektiğini ortaya koydu. Atığın ücretsiz olarak alınması da tesisin ekonomik performansını önemli ölçüde artıracaktır. Projenin bir parçası olarak yapılan bir yaşam döngüsü değerlendirmesinde, BSF sürecinin, atığın toprağa gömülmesi veya meyve atığının kompostlanması ile karşılaştırılabilir veya daha düşük CO2 emisyonları ve GWP seviyeleri sergilediğini göstermiştir. Geleneksel tarım girdilerinin yerine organik gübre ve kurutulmuş larvaların kullanılması da daha az çevresel etki göstermiştir. Örneğin, orkinos yemi yerine kurutulmuş larva bazlı öğün ile gine tavuğu beslemek sera gazı (GHG) emisyonlarını % 25'e kadar azaltabilir. Bu durumda kilit başarı faktörleri BSF yetiştirmeye elverişli bir iklim, yerel bağlama uyarlanmış düşük teknoloji ve düşük maliyetli bir sistemin benimsenmesi ve hem yerel araştırma ortaklarının hem de BSF yetiştirme deneyimine sahip uluslararası akademik ortakların katılımıyla bağlantılıdır. .

Paydaş analizi, küçük çiftçiler ve son ürün tüketicileri tarafından her iki ürünün (BSF larvaları ve organik gübre) kullanımını için yüksek düzeyde kabul edildiğini ve BSF üretim tedarik zincirine katılmak için çeşitli paydaşların ilgisini ortaya koydu.

6.5 Vaka Çalışması 4: Enterra Fee

Enterra Feed, 2007 yılında kurulmuş özel bir şirkettir. İlk laboratuvar ölçekli sistem 2009 yılında Vancouver'da inşa edilmiştir. Daha sonra, Enterra Feed, iş planı yaparak ve bir pilot tesis kurarak operasyonunu kademeli olarak laboratuvardan ticari ölçeğe yükseltti. 2014 yılında Enterra Feed, ticari ölçekli bir tesis kurmak için üretimini Vancouver yakınlarındaki Langley'ye taşıdı. Bugün Enterra Feed büyümeye devam ediyor. Langley tesisinin üretim kapasitesini günde 100'den 1.000 ton atığa çıkarmayı ve diğer Kanada şehirlerinde, ABD ve Avrupa'da yeni tesisler kurmayı planlıyor.

6.5.1 Bağlam

Vancouver, Kanada'nın güneybatı kıyısında yer alan British Columbia'nın en büyük şehridir. Okyanus iklimi ile karakterizedir ve kışın en sıcak Kanada şehirlerinden biridir. 2016 nüfus sayımına göre, Vancouver yaklaşık 630.000 nüfusa sahiptir ve Kanada'daki en yüksek nüfus yoğunluğunu sergilemektedir. 2016 yılında yaklaşık 2,5 milyon nüfusa ev sahipliği yapan Büyük Vancouver, Toronto ve Montreal'den sonra Kanada'nın üçüncü en kalabalık metropol bölgesidir. Organik atıklar 2014 yılında Metro Vancouver'da hane halkları tarafından bertaraf edilen 392.630 ton atığın yaklaşık % 40'ını temsil etmektedir. 2015 yılından bu yana, organik atıkların hane halkı ve işletmeler tarafından ayrılması Metro Vancouver'ın organik atık yasağı kapsamında zorunlu hale gelmiştir.

6.5.2 Enterra Yem tesisinin Teknoloji ve Üretim özellikleri Tablo 29'da özetlenmiştir.

TABLE 29. THE ENTERRA FEED FACILITY: PRODUCTION CHARACTERISTICS.

General	
Waste input type	Preconsumer food waste (primarily fruit and vegetable waste, bread and grains)
Waste-processing capacity	100 tonnes daily
Products	Whole dried larvae, larvae meal, larvae oil and biofertilizer
Production capacity	7 tonnes daily of protein and oil feed ingredients and 8 tonnes daily of biofertilizer
Status of validation	Commercially proven
Preprocessing	
Preprocessing techniques	As some of the wastes received are still packaged, Enterra uses a depackaging machine. The waste is then shredded and mixed with small amounts of fish trim and waste grains to produce a suitable substrate to feed the BSF larvae
Waste treatment	
Configuration	Large trays stacked vertically. Enterra Feed's process is highly controlled and automated
Larval feeding period	14 days
Harvesting and post-treatment techniques	
Harvesting	Mechanical sieving
Sanitization and postprocessing	Larvae are screened, washed, cooked, dried, heat treated and packaged
Rearing	
Egg production	At full capacity, the process relies on a broodstock of 6 to 8 million adult flies. The hatchery consists of 50 mating cages of 54 m ³ each (2,700 m ³ in total) and produces 5 kg of eggs daily
Colony perpetuation	All the young larvae are used in the waste treatment unit but about 1% of the 100 million mature larvae harvested every day is sent back to the hatchery to pupate into flies

Note: Data were collected October - November 2017

6.5.3 Ekonomik Geçerlilik ve Etkiler

Enterra, en son Ağustos 2018'de finansman durumunu açıkladı ve Kanada ve ABD'de üç yeni böcek fabrikası kurmayı planlıyor. 2014 yılında fondan yaklaşık 10 milyon ABD Doları alan Enterra, fonlamanın şirketin değerini 100 milyon ABD Doları'nın üzerine çıkardığını belirtti. Her yeni tesis 30 milyon dolara mal olacak ve şirket BSF üretimini 90 kat arttırmayı hedefliyor. Yatırımcılar arasında Cibus Fonu, Wheatsheaf Grubu, Avrio Capital ve ör. Tavuk Yemi (PHW Gruppe) var.

Enterra Feed, kamu kurumlarından teknik destek aldı. Aynı zamanda Ar-Ge için yerel araştırma kurumları ve yem üreticileri ile ortaklık kurdu. 2015 yılında Vancouver, organik atığın arazilere depolanarak bertaraf edilmesini yasakladı. Ancak Enterra, yalnızca “precustomer” gıda atıklarını yem malzemeleri olarak işleyebilir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde ve kümes hayvancılığında yem olarak larva üretmek için “postcustomer” atıkların kullanılması yasaktır. Enterra Feed tarafından üretilen organik gübre satışı onaylanmıştır ve Kanada, ABD ve AB'de organik tarım için izin verilen bir madde olarak listelenmiştir. Yem ürünlerinde federal onay almak daha zordu. Enterra, kümes hayvanları ve çiftlik somonunda böcek bazlı yem ürünlerinin kullanılması amacıyla hem Kanada Gıda Denetim Ajansı'ndan (CFIA) hem de ABD'deki Gıda ve İlaç İdaresi'nden (FDA izin alabilmek için 2017 yılına kadar beklemek zorunda kaldı. Organik gübre yerel ve organik çiftçiler tarafından başarıyla test edildi ve şimdi Vancouver'da satılıyor. Larva bazlı yem katkı maddelerinin Atlantik somonu, tilapia, gökkuşağı alabalığı ve kümes hayvanlarını beslemek için de uygun olduğu kanıtlanmıştır. Enterra'nın yem bileşenleri ABD yem pazarında başarıyla satılıyor. Enterra, ana yem ürünleri için en az 10 büyük müşterisi var ve şu anda yine organik gübre ürünleri üreten Kanadalı bir şirket olan BioFert'e organik gübre satıyor. 2017 yılı itibariyle Enterra, asgari ücret üzerinden maaş alan 32 tam zamanlı personel istihdam etmiştir. Enterra yılda 36.000 ton atığı atık depolama alanlarından uzaklaştırmaktadır. Ayrıca, işleminin, herhangi bir metan üretmediği, minimal makinelere dayandığı ve yerel pazarda geleneksel yem ürünlerinin yerini alabilecek yem bileşenleri ürettiği için, kompostlama ve toprak doldurmadan daha düşük GHG emisyonları yayması beklenmektedir. Dahası, larvaları yetiştirmek için temiz su gerekmez ve meyve ve sebze atıklarından yaklaşık 20.000 m³ su geri kazanılabilir, ancak bu uygulama talep ve iklim bu iyileşmeyi anlamlı kılmadığı için Kanada'da yapılmaz. Bu durumda anahtar başarı faktörleri bol miktarda atık sağlama yeteneğini içerir ve bununla ilgilenmek, kurumsal destek, yeterli finansmana erişim, yeşil işletmeleri desteklemek ve organik atıkları değerlendirmek ve ürünlerini Kuzey Amerika pazarında satmak için onay almak için elverişli bir politika ortamı, büyük bir tarımsal girdi talebidir.

6.6 Vaka Analizlerinden Çıkarılan Dersler

1. BSF teknolojisi çok çeşitli bağlamlarda, yani farklı gelir düzeylerine sahip ülkelerde, farklı iklimlerde ve farklı ölçeklerde uygulanmıştır. Gerçekten de, BSF teknolojisi, hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde, hayvan yemi için potansiyel olarak büyük bir pazardan yararlanmak isteyen girişimciler için giderek daha çekici hale geliyor.

2. AgriProtein ve Enterra Feed vaka çalışmaları, BSF teknolojisinin büyük ölçekte uygulanmasının ılıman iklimlerde bile teknik olarak uygulanabilir ve ekonomik olarak verimli olduğunu, ancak büyük yatırımlar gerektirdiğini göstermiştir. Büyük ölçekli BSF tesisleri, yüksek otomasyon seviyeleri ve yüksek kontrollü bir ortam ile karakterizedir.

3. Orta ölçekli BSF tesisleri, organik atık yönetimini geliştirme, düşük ve orta gelirli ülkelerde geçim fırsatları yaratma potansiyeline sahiptir, ancak bunların ekonomik uygulanabilirliği henüz kanıtlanmamıştır. Bu ölçekte ekonomik performans artırabilir ancak böyle bir organizasyon yapısı henüz test edilmemiştir. Orta ölçekli tesisler, BSF'nin yüksek kontrollü bir iklimlendirme ortamının uygulanmasına yatırım yapmayı göze alamayacakları için, şimdiye kadar çoğunlukla tropik iklimlerde işletilmektedir.

4. Bir tesisten diğerine operasyonel tasarımdaki farklılıklara rağmen, sürecin genel organizasyonu tesisler arasında benzerlik gösterir.

5. Tüketim öncesi atık, BSF tesisleri tarafından tercih edilen atık sınıfı gibi gözükmektedir, Bunun istisnası çok çeşitli organik maddeleri işleyen AgriProtein'dir. Bu bağlamda, büyük ölçekli tesisler, ayırma ve ön işleme ekipmanlarına yatırım yapabildikleri için, çoklu kaynaklardan gelen karışık organik atıkları daha iyi işleme tabi tutabilmektedir. Diğer yandan, benzer kaynaklardan belirli bir atık türünün arıtılması, pahalı ön işleme makinelerine yatırım yapamayan küçük veya orta ölçekli tesisler için daha iyi bir strateji olabilir.

6. Her ölçekte, sürekli olarak doğru miktarda atığın sağlanması BSF tesislerinin karşılaştığı en büyük zorluklardan biridir. Ayrıca, özellikle küçük ve orta ölçekli bir tesisin genel ekonomik kârlılığını etkileyen atık kaynağı tesislere ihtiyaç vardır. Bu bağlamda, organik atık yönetimine ilişkin düzenleme ve politikalar atık tedariki ekonomisini etkilemektedir. Örneğin, organik atıkları değerlendirmenin zorunlu olduğu yerlerde, BSF tesisleri atıklarla ilgilenmek için ödeme alabilir. Öte yandan, düzenlemenin yokluğunda, BSF tesisleri atıkları satın almak zorunda kalabilir. Analiz edilen tüm BSF tesisleri aynı tür ürünleri, yani BSF larva bazlı yem bileşenleri ve gübre satmaktadır. Bununla birlikte, daha büyük ölçekli tesisler pahalı tamir ekipmanlarına yatırım yapabildikleri için daha yüksek kalitede ürünler sunmaktadır. Bugüne kadar, bilgimiz dahilinde, hiçbir ticari BSF tesisi, larvaların lipit içeriğini biyodizel işleminden geçirmemekte veya kitin BSF prepupalarından ekstrakte etmemektedir.

8. Gelişmekte olan ülkelerdeki tesisler, larva bazlı yem ürünlerini satmak için daha az yasal engelle karşılaşmış gibi görünmekle birlikte, yüksek gelirli ülkelerde bu durum, tesisin ekonomik

uygulanabilirliğini engelleyebilecek önemli bir konudur. Bununla birlikte, giderek daha fazla şirket ürünlerini onaylattıkça, bu gelecekte daha az önemli bir sorun haline gelebilir.

7. Araştırma özellikleri ve Daha Fazla Araştırma İhtiyacı Olan Alanlar

7.1 BSF Teknolojisinde Yayımlanan Literatüre Genel Bakış

BSF teknolojisi ile ilgili akademik araştırmanın durumunu, incelenen çalışmaların odağını, araştırdıkları temel yönleri ve ayrıca test edilen atık türleri ve yayınlanma tarihi analiz edilmiştir. İncelenen çalışmaların odağı ile ilgili olarak, süreç mühendisliği, uygulama, sürdürülebilirlik hususları ve ürünler olmak üzere dört kategori oluşturulmuştur. İlk üç kategori, Lohri ve ark. tarafından tanımlanan sınıflandırmaya dayanmaktadır. (2017). Tanımlarına göre, süreç mühendisliği kategorisi “süreci anlamak ve optimize etmek için temel temellere odaklanan teknik / laboratuvar ölçeğinde çalışma makaleleri” ni ifade ederken, uygulama kategorisi “pilot ölçeği veya örneği ile ilgili çalışmaları içerir. Sürdürülebilirlik yönleri kategorisini tartışan çalışmalar BSF teknolojisinin ekonomik, çevresel veya sosyal yönleriyle ilgili tüm makaleleri gruplandırmaktadır. Son olarak, dördüncü bir kategori olan ürünler, Lohri ve ark. (2017), BSF biyodönüşüm süreciyle elde edilen ürünlerin özellikleri, uygulamaları veya güvenliği ile ilgili konuları dikkate alacak şekilde sınıflandırılmıştır. Her kategoriye giren çalışma sayısı Şekil 4'te gösterilmektedir (bazı çalışmalar birkaç kategoride sınıflandırılmıştır). Çalışmaların çoğu süreç mühendisliğine ve sürecin ürünlerine odaklanırken, az sayıda çalışma sürdürülebilirlik yönleriyle ve hatta daha azı BSF teknolojisinin (iş) uygulanışıyla ilgilidir. Buna ek olarak, BSF teknolojisi üzerinde yayınlanan çalışmalar şimdiye kadar bu yöntemin teknik yönlerini kapsamlı bir şekilde ele alırken, ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarını daha az araştırmıştır (bakınız Şekil 5). Ayrıca, hiçbir makalenin ana konusu BSF teknolojisinin yasal yönü olmamıştır. Şekil 6, hayvan gübresi ve gıda atıklarının en kapsamlı incelenen atık türleri olduğunu ve bunu bitkisel tarımsal endüstriyel atıkların ve BSF besleme stoğu olarak insan dışkısının izlediğini göstermektedir.

FIGURE 4. MAIN FOCUS OF THE STUDIES REVIEWED (N=90).

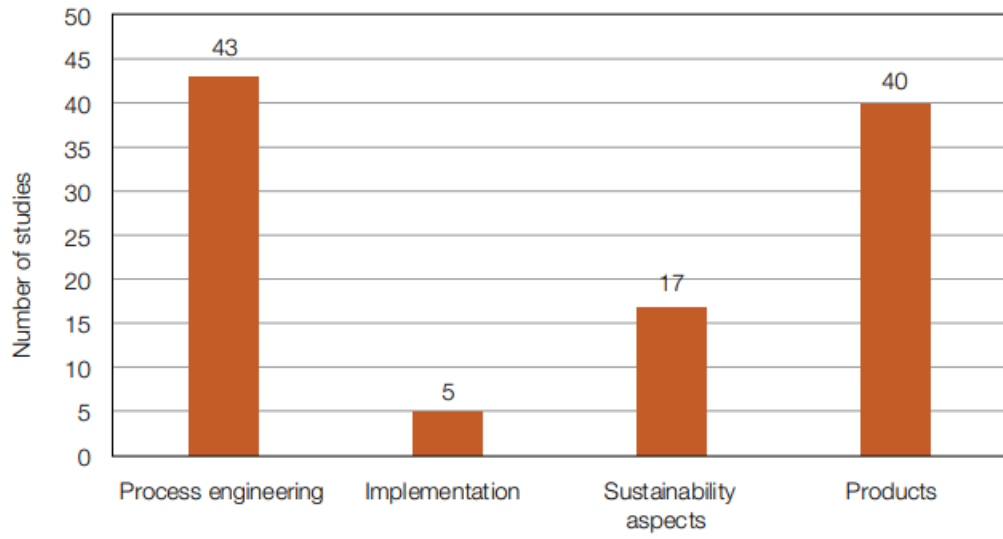


FIGURE 5. MAIN ASPECTS EXAMINED BY THE STUDIES REVIEWED (N=90).

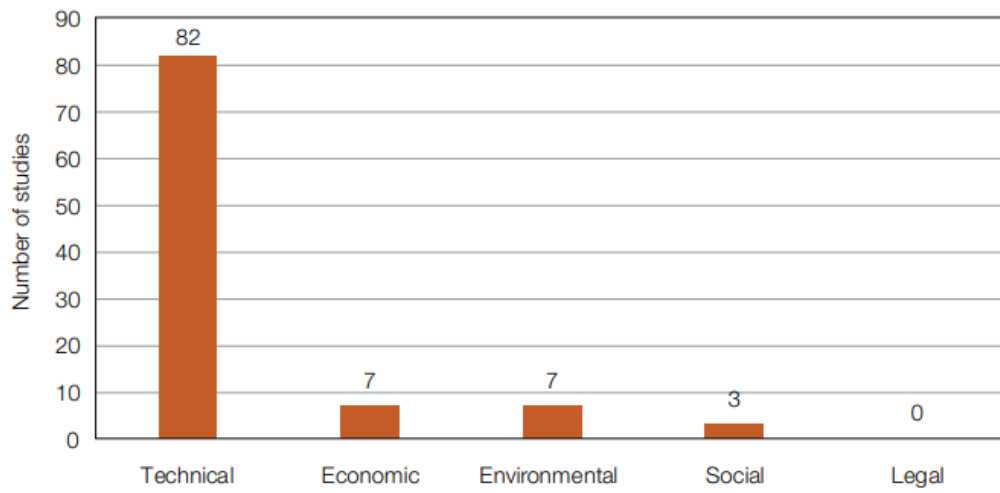
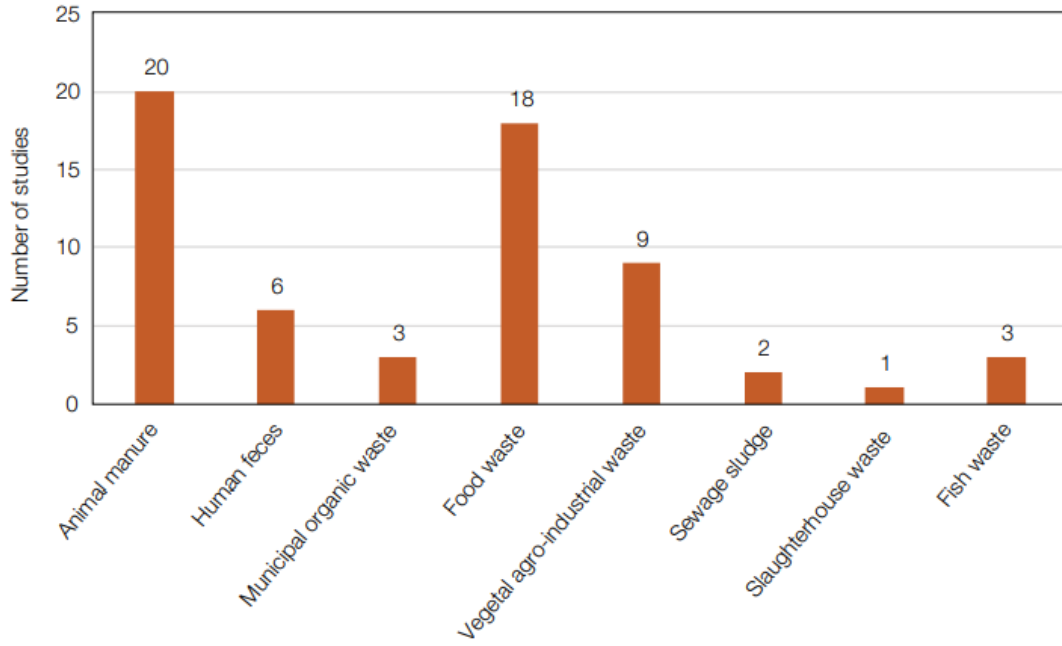


FIGURE 6. TYPES OF WASTE INVESTIGATED IN THE STUDIES REVIEWED (N=47).



İncelenen ülke koşulları ve iklimler ile ilgili olarak, çoğu çalışma (~% 80) belirli bir duruma odaklanmamıştır. Belirli bir koşula odaklanan çalışmalar için, yüksek gelirli ülkeler (% 12) ile düşük ve orta gelirli ülkelerde (% 9) biraz daha fazla çalışma ele alınmıştır. Öte yandan, aynı oran (% 8) tropik iklimlerde olduğu gibi ılıman iklimlerle ilgili korunmuştur (bkz. Şekil 7). Son olarak, Şekil 8, incelenen çalışmaların % 75'inden fazlası 2005'ten sonra ve % 50'den fazlası 2010'dan sonra yayınlandığından BSF teknolojisi üzerine yapılan araştırmaların oldukça yeni olduğunu göstermektedir.

FIGURE 7. A) CONTEXTS, AND B) CLIMATE ZONES EXAMINED BY THE STUDIES REVIEWED (N=90).

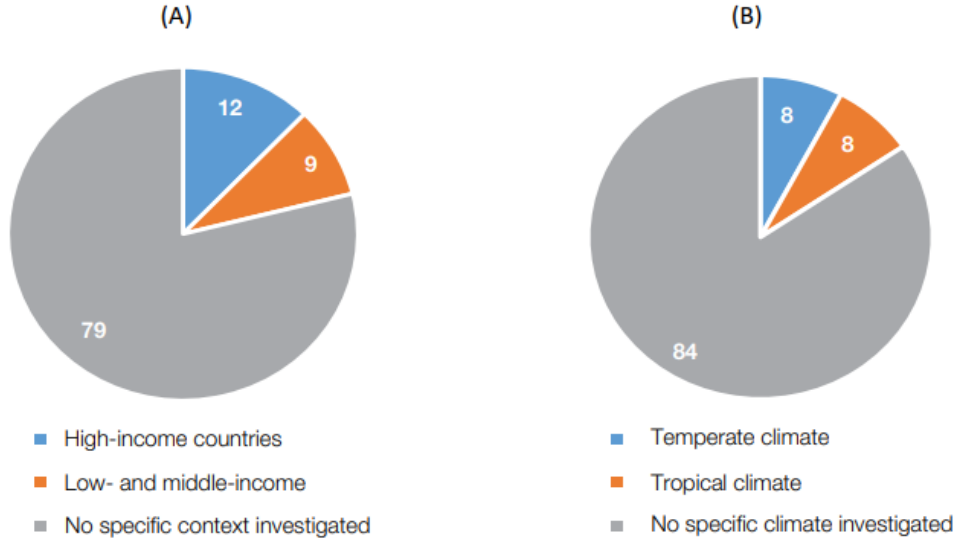
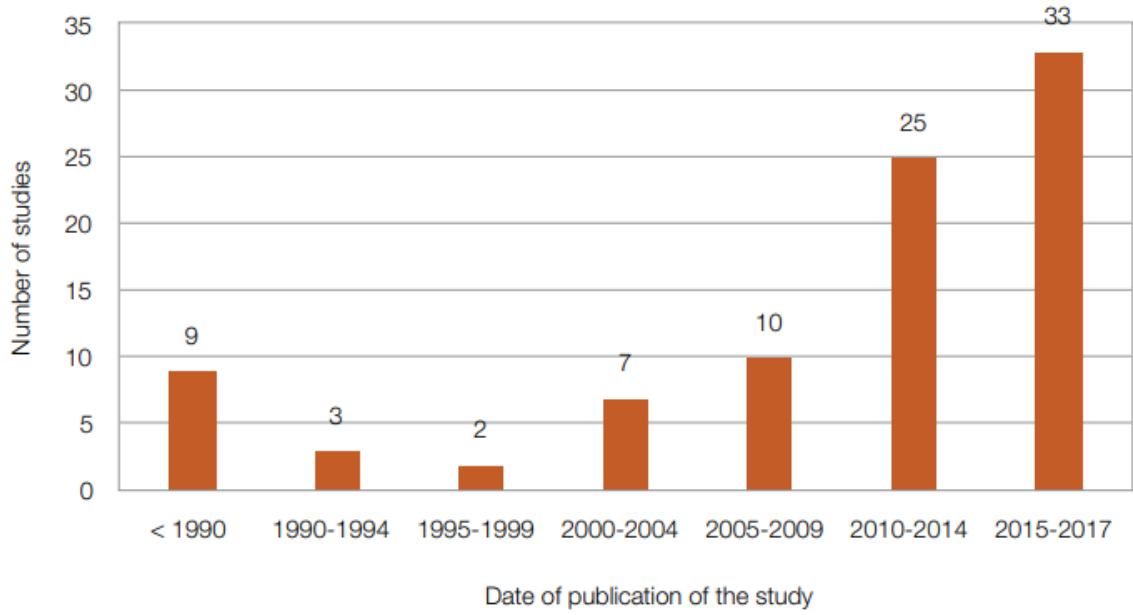


FIGURE 8. PUBLICATION DATES OF THE STUDIES REVIEWED (N=89).



7.2 Araştırma ihtiyacı olan alanlar

BSF'nin organik atık arıtması hakkındaki literatürü gözden geçirerek, çeşitli araştırma boşlukları ve daha fazla araştırma ihtiyacı tespit edilmiştir (Tablo 30). BSF teknolojisinin teknik yönü ile ilgili olarak, hammadde, yetiştirme süreci, atık arıtma aşaması ve işlemde elde edilen ürünler ile ilgili çeşitli araştırma boşlukları belirlenmiştir.

TABLE 30. RESEARCH GAPS PERTAINING TO THE BSF TECHNOLOGY.

Theme	Research gaps
Feedstock	Optimal nutrient balance (e.g. C/N ratio), pH and fiber content.
Mating and oviposition	Mechanisms involved in the choice of an oviposition site by female flies, optimal space and fly density for mating.
Waste treatment	Optimal thickness for the waste layer, oxygen requirement of the larvae, co-digestion of different waste types, role of microorganisms in the bioconversion process, nutrient flows throughout the process.
Products	Optimal stage at which to harvest the biomass, safety of both products, properties of the waste residue, including nutrient composition, efficiency of the waste residue as a fertilizer, improvement of diet formulation of larvae meal, hygienization and refining methods for both products.
Implementation of the BSF technology	Optimal design and operating procedures for commercial BSF facilities, procedure for scaling up a BSF system.
Economic and business aspects	Start-up challenges, as well as profitability of running a medium-scale BSF facility, quantification of the revenues from the sales of the different products, comparison of the economic performance for different feedstocks, applications, and contexts (climate, income level, scale, etc.), and economic viability of differently sized enterprises.
Environmental aspects	Quantification of the CO ₂ emissions associated with the BSF technology and comparison with other organic waste treatment methods, overall environmental performance of the BSF waste treatment process compared to other organic waste valorization options, taking into account all the environmental benefits associated with the replacement of other raw materials for animal feeding, fertilizer or biodiesel production, comparison of different applications for the BSF larvae in terms of environmental impacts (e.g. animal feed vs. biodiesel), comparison of the environmental performance of a BSF system for different substrates and specific inventory of GHG data for the BSF.
Social acceptance	Social acceptance of feeding animals with ingredients derived from BSF larvae reared on negatively perceived waste such as animal manure or human feces, willingness of waste operators or farmers to adopt this technology.

Hammaddeyle ilgili olarak, literatür BSF larvalarının çok çeşitli organik maddeleri işleyebileceğini ve atık girdisinin optimum nem içeriğini tartıştığını belirlemiştir. Bununla birlikte, atığın fiziksel-kimyasal bileşiminin BSF sürecini nasıl etkilediğine çok az dikkat edilmiştir. Hammaddenin optimal besin dengesi, pH ve lif içeriği de bilinmemektedir. BSF'nin ıslahı için, yapay olarak üreyen BSF'nin optimal çevresel koşulları kapsamlı bir şekilde araştırılmıştır. Bununla birlikte, yetişkin BSE'lerin çiftleşmesinin altında yatan biyolojik mekanizmalar ve dişi BSF tarafından yumurtlama henüz tam olarak anlaşılammıştır. Bu nedenle, etkin bir BSF atık yönetim sisteminin sağlanması için yumurtaların sürekli üretimi önemli bir koşul olduğundan, bu adımı optimize etmek çok önemlidir. Özellikle, dişiler tarafından bir yumurtlama yeri seçiminde yer alan mekanizmalar, mümkün olduğu kadar çok yumurta toplamak üzere etkili yumurtlama ortamı ve çekici substratlar tasarlamak için daha fazla araştırılmalıdır. Ayrıca, çiftleşme için en uygun alan ve sinek yoğunluğu belirlenmelidir. Atık arıtma aşaması ile ilgili olarak, literatür esas olarak optimal larva yoğunluğu, besleme hızı ve rejimi oluşturmaya odaklanmıştır, ancak bazı yazarlar iyi işleyen bir üretim sağlamak için bu faktörün önemini vurgulamış olsa da, atık tabakasının optimal kalınlığı tam olarak belirlenmemiştir. (Perednia 2016; Dortmans ve diğerleri 2017; Yang 2017). Atık katmanı için uygun kalınlık aralığını belirlemek için larvaların oksijen ihtiyacı anlaşılmalıdır. Daha fazla araştırılması gereken bir diğer boyut, sistemin performansını optimize etmek ve ürünlerin değerini artırmak için farklı atık türlerinin birlikte işlenmesidir. Rehman ve ark. (2017a, 2017b) ve St-Hilaire ve ark. (2007b). Bununla birlikte, sadece sınırlı bir atık türü kombinasyonu araştırılmış ve farklı atık türlerinin karıştırılmasının hem sistemin performansı hem de ürünlerin değeri üzerindeki etkisi henüz tam olarak belgelenmemiştir. BSF

teknolojisini daha iyi anlamak için, proses boyunca besin akışları ve ayrıca mikro dönüşümlerin biyodönüşüm sürecindeki rolü daha kapsamlı bir şekilde analiz edilmelidir. BSF proses ürünlerine gelince, larva biyokütlesinin hasat edilebileceği optimal aşama daha fazla tartışılmalı ve besin değeri, sindirilebilirlik ve güvenlik arasındaki değişimler incelenmelidir. Hem larvaların hem de atık kalıntılarının güvenliğinin daha fazla araştırılması gerekir. Özellikle, her birine özgü riskler için atık akışı dikkate alınmalıdır. Ayrıca, farklı ürünlerin dezenfekte edilmesi ihtiyacı ve çeşitli sanitasyon tekniklerinin performansı tartışılmalıdır. Bugüne kadar, literatür çoğunlukla larvalardan elde edilen ürünlere odaklanmıştır ve atık kalıntısının özellikleri nadiren tartışılmıştır. Bu nedenle, atık tortusunun olgunluğu, pH'ı, besin maddesi ve kimyasal bileşimi vb. dahil olmak üzere özelliklerini daha kapsamlı bir şekilde analiz etmeye ve gübre olarak etkinliğini test etmeye ihtiyaç vardır. Son olarak, larva unu diyet formülasyonunun iyileştirilmesinde atık niteliği dikkate alınmalıdır. Bugüne kadar, literatür çoğunlukla larvalardan elde edilen ürünlere odaklanmıştır. Sosyal yönüyle ilgili olarak, PROteINSECT projesinin bir parçası olarak ve Popoff ve ark. tarafından yürütülen tüketici algısı anketlerini tamamlamak (2017), hayvan gübresi veya insan dışkısı gibi potansiyel olarak olumsuz algılanan atıklara dayanan BSF larvalarından elde edilen bileşenlerle hayvanların beslenmesinin sosyal kabulünün yanı sıra atık operatörlerinin veya çiftçilerin bu teknolojiyi benimseme istekliliği de analiz edilmeli ve daha fazla tartışılmalıdır. Önceki bölümde tartışıldığı gibi, akademik araştırmalar BSF teknolojisinin uygulanmasından ziyade süreç mühendisliğine odaklanmaktadır. Sonuç olarak, literatürde önerilen çoğu çalışma tasarımı sadece laboratuvar veya çok küçük ölçekte test edilmiştir. Mevcut orta ölçekli pilot tesislerin tasarımı ve günlük faaliyetleri hakkında fikir veren birkaç pratik kılavuz veya YouTube videosu dışında (Caruso ve ark.2013; Popoff ve Maquart 2016a, 2016b; Dortmans ve ark.2017), mevcut ticari BSF atık arıtma tesislerinde uygulanan tasarım ve işletim prosedürlerine ilişkin bilgiler rekabetçi gerekçelerle halka açık değildir (Lohri ve ark. 2017; Dortmans ve ark. 2017). Bu nedenle, daha geniş çaplı bir BSF atık arıtma tesisinin akademik araştırma ve rutin işleyiş arasındaki bilgi boşluğunun kapatılmasına ihtiyaç vardır. Buna ek olarak, bir BSF sistemini ölçeklendirme prosedürü tartışılmalıdır. BSF teknolojisinin ekonomik boyutu göz önüne alındığında, finansal gereklilikleri ve orta ölçekli bir BSF tesisi çalıştırmanın olasılığı henüz yeterince ele alınmamıştır ve bu nedenle daha fazla araştırılmalıdır. Bu bağlamda, Diener ve ark. tarafından önerildiği gibi, orta ölçekli BSF işletmelerinin ekonomik uygulanabilirliğini artırmak için yarı merkezi bir sinek yetiştirme tesisi uygulaması (2015a) araştırılabilir. BSF sistemlerinin ekonomik analizlerini iyileştirmek için, farklı proses yan ürünlerinin satışlarından elde edilen gelirleri daha iyi ölçmeye ihtiyaç vardır. Son olarak, farklı hammaddeler, uygulamalar ve koşullar (iklim, gelir seviyesi, ölçek vb.) için BSF sistemlerinin ekonomik performansının karşılaştırılması ilginç olacaktır. Çevresel yönüyle ilgili olarak, BSF teknolojisiyle ilişkili CO2 emisyonları nicelleştirilmeli ve diğer organik atık arıtma yöntemleriyle karşılaştırılmalıdır. Ayrıca, Komakech ve ark. (2015), hayvan besleme, gübre veya biyodizel üretimi için diğer hammaddelerin yerine ikamesi ile ilişkili tüm çevresel faydalar göz önünde bulundurularak, BSF atık arıtma işleminin genel çevresel performansı, diğer organik atık

değerlendirme seçenekleriyle karşılaştırılmalıdır. BSF larvaları için farklı uygulamaların çevresel etkileri (örneğin biyodizele ile hayvan yemi) açısından karşılaştırılması ve ayrıca Smetana ve ark.'nın çalışmalarını tamamlamak için farklı substratlar için bir BSF sisteminin çevresel performansı açısından karşılaştırılması da ilginç olacaktır. (2016). Son olarak, Salomone ve ark. (2017), BSF için spesifik GHG(sera gazı emisyonu) envanter verilerinin oluşturulması gerektiğine dikkat çekmiştir.