



نشریه محیط زیست و توسعه

سال ۱۶، شماره ۳۱، بهار و تابستان ۱۴۰۴

Journal Homepage: www.iraneiat.ir

Online ISSN: 2783-2554

سوپرورم (*Zophobas morio*): توانمندی‌ها و چالش‌ها برای ارتقای اقتصاد چرخشی

عباس ارباب*

*نویسنده مسئول، دانشیار گروه حشره‌شناسی، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، تاکستان، ایران. رایانامه: abbas.arbab@iaui.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

چکیده

در چند سال اخیر، مفهوم اقتصاد چرخشی به دلیل اهمیت بالقوه آن در اهداف توسعه پایدار به‌ویژه از طریق تطبیق رشد اقتصادی با حفاظت از محیط زیست، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. استفاده از حشرات در سامانه‌های تولید چرخشی نمونه خوبی از این مفهوم است. زیرا حشرات می‌توانند طیف وسیعی از پسماندهای آلی و محصولات جانبی صنایع غذایی را به مواد قابل بازگشت به چرخه مصرف تبدیل کنند. این مقاله به بررسی توانمندی لارو سوپرورم (*Zophobas morio*) در سامانه‌های تولید چرخشی با بررسی کارایی و کاربرد آن در صنایع مختلف مانند کشاورزی، مواد غذایی و محیط زیست می‌پردازد. تولید سوپرورم به دلیل منابع کمی که برای پرورش آنها مورد نیاز است، تاثیر محیط زیستی کمی دارد و می‌توان آن را در طیف گسترده‌ای از بسترها و محصولات جانبی به‌دست آمده از صنایع غذایی پرورش داد. این ویژگی آنها را به یک ابزار تبدیل زیستی عالی تبدیل می‌کند و با مفهوم اقتصاد چرخشی پایدار مطابقت دارد. این موضوع به دلیل تاثیرات آن از نظر اقتصادی و محیط زیستی می‌تواند منشا اثر زیادی باشد.

کلید واژه‌ها: اقتصاد چرخشی، حشرات، سوپرورم، محیط زیست

استناد: ارباب، عباس (۱۴۰۴). سوپرورم (*Zophobas morio*): توانمندی‌ها و چالش‌ها برای ارتقای اقتصاد چرخشی. *نشریه محیط زیست و توسعه*، ۱۶ (۳۱)،

<https://doi.org/10.22034/eiat.2025.250845> . ۱۱۷-۱۰۹



© نویسندگان.

ناشر: انجمن ارزیابی محیط زیست ایران.

سراغاز

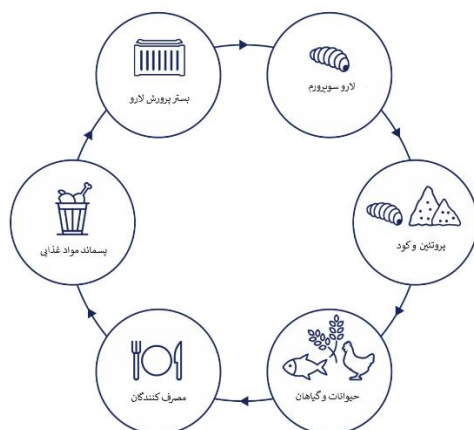
مفهوم اقتصاد چرخشی برای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ مطرح شد که هدف آن تغییر الگوی خطی تولید و مصرف با اتخاذ راهبردهای چرخشی یا «بستن» بود (Ojha et al., 2020). در دهه گذشته اقتصاد چرخشی به یکی از مهمترین موضوعات محیط‌زیستی تبدیل شده است. اقتصاد چرخشی به دلیل توانمندی آن برای رشد اقتصادی به شیوه‌ای پایدار، توجه قابل ملاحظه‌ای را حتی در سطوح سیاسی نیز به خود جلب کرده است. به‌طور خاص، اقتصاد چرخشی می‌تواند به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد، با تاثیر قوی و مستقیم محیط‌زیستی در اهداف کلیدی مانند انرژی مقرون‌به‌صرفه و پاک و مصرف و تولید مسئولانه کمک کند. در مقایسه با اقتصاد خطی (برداشتن، ساختن، استفاده کردن و دور ریختن)، اقتصاد چرخشی (رشد، ساخت، استفاده و بازیابی) مدلی است که هدف آن حفظ اجزا، مواد و محصولات در آنهاست و بالاترین سودمندی حذف زباله از یک سامانه را هدف خود قرار داده است (Homrich et al., 2018). در واقع، اقتصاد چرخشی آینده‌ای را متصور است که در آن مفهوم «پسماندهای ناکارآمد» به‌تدریج کنار گذاشته می‌شود. در این نظام اقتصادی جدید، زباله‌ها باید به «مواد مغذی» بیولوژیکی تبدیل شوند که بتوانند نیازهای جوامع بشری را برآورده کنند. از اصول کلیدی اقتصاد چرخشی ورودی کمتر و استفاده کمتر از منابع طبیعی، استفاده از منابع تجدیدپذیر و قابل بازیافت؛ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای؛ کاهش تلفات و هدررفت منابع مادی؛ حفظ کیفیت قطعات و استفاده از مواد ارزان‌قیمت است. اگرچه به طور گسترده‌ای از مفهوم اقتصاد چرخشی استفاده می‌شود؛ ولی معنای آن هنوز مورد بحث است (Geissdoerfer et al., 2017). بر اساس تعریف برخی از صاحب‌نظران «اقتصاد چرخشی» یک سامانه اقتصادی است که مفهوم «پایان عمر» را با کاهش، استفاده مجدد، بازیافت و بازیابی مواد در فرایندهای تولید/توزیع و مصرف جایگزین می‌کند (Kirchherr et al., 2017). در مطالعات اخیر به نقش حشرات در سامانه‌های غذایی چرخشی علاقه زیادی نشان داده شده است (Madau et al., 2020). برخی محققان اظهار داشته‌اند که علت افزایش توجه به حشرات در اقتصاد چرخشی توانایی آنها برای تبدیل مواد آلی به پروتئین و حل مشکل پسماندهای مواد غذایی است. پرورش حشرات نیاز به فضای کمتر، آب کمتر و اغلب انرژی کمتری در مقایسه با سایر دام‌های معمولی است (Derler et al., 2021). حشرات همچنین به دلیل دارا بودن ارزش غذایی مناسب می‌توانند در رژیم غذایی انسان و دام‌ها نقش داشته باشند. حشرات با تبدیل موثر بقایای آلی به زیست‌توده مغذی به‌عنوان منبع جایگزین مواد مغذی و سایر مواد عمل می‌کنند. فرآورده‌های جانبی حاصل از تولید آنها مانند فضولات را می‌توان به‌عنوان کود استفاده کرد. این امر امکان معرفی مجدد بسترهای پرورش حشرات را به زنجیره تولید مواد غذایی می‌دهد که با اصول اقتصاد چرخشی مطابقت دارد (شکل ۱). حشرات را می‌توان هم به‌عنوان خوراک و هم به‌عنوان غذا استفاده کرد. هر دو کاربرد باعث می‌شود حشرات به طور قانونی نوعی «دام» محسوب شوند؛ بنابراین کلیه مقررات مربوط به خوراک دام، دامپروری، بهداشت و رفاه در مورد آنها باید اعمال شود. حشرات به دلیل اثرات محیط‌زیستی کم و توانایی آنها در تبدیل پسماندهای آلی، حتی اگر قیمت آنها در بازار هنوز رقابتی نباشد، جایگزین امیدوارکننده و پایدارتری برای خوراک‌های پروتئینی رایج مانند غذاهای گیاهی و ماهی محسوب می‌شوند (Gasco et al., 2018).

هدف این نوشتار افزایش اطلاعات در مورد پیوند بین حشرات و اقتصاد چرخشی، با تجزیه و تحلیل سوپرورم (*Zophobas morio*) (Coleoptera, Tenebrionidae)، یکی از امیدوارکننده‌ترین گونه‌های حشرات برای مصرف انسان و دام است. پس از معرفی توانمندی استفاده از سوپرورم برای ارتقای پسماندهای غذایی، برخی از مطالعات تحقیقاتی را در مورد استفاده متفاوت از این گونه از حشرات ارائه می‌شود. وضعیت فعلی فراوری سوپرورم و اهمیت آن در اقتصاد چرخشی نیز مورد بحث قرار گرفته است.

ویژگی‌های سوپرورم

سوپرورم (*Z. morio* F. (Coleoptera: Tenebrionidae) یک حشره هولومتابولیک (دگردیسی کامل)، دارای چهار مرحله زندگی تخم، لارو، شفیره و بالغ) از راسته سخت بالپوشان و خانواده سوسک‌های تاریکزی است. این حشره بومی آمریکای جنوبی است و اگر چه در گذشته به‌عنوان آفت انباری آرد گندم و برخی دیگر از فرآورده‌های غلات مورد توجه قرار داشته است؛ ولی در حال حاضر اهمیت خسارت‌زایی آن ناچیز بوده و به‌عنوان یک آفت انباری درجه دو محسوب می‌شود. سوپرورم امروزه به دلیل گسترش تبادلات جهانی در بیشتر کشورهای جهان پراکنده شده است (ارباب، ۱۴۰۱). در دهه اخیر، این حشره برای اهداف خوراک- غذا و مدیریت پسماندهای آلی مورد مطالعه قرار

گرفته است. لاروهای آنها به علت دارا بودن ۴۶ درصد پروتئین و ۴۲ درصد چربی (Rumbos & Athanassiou, 2021) دارای ارزش غذایی بالایی هستند. لارو سوپرورم دارای مشخصات آمینواسیدهای متعادلی است که سرشار از اسیدهای آمینه ضروری و غیرضروری است (جدول ۱) (Jabir et al., 2012).



شکل ۱. نقش لارو سوپرورم در اقتصاد چرخشی

آنها همچنین منبع خوبی از اسیدهای چرب هستند که با اسیدهای میریستیک، پالمیتیک و استئاریک مشخص می‌شوند. علاوه بر این، مقدار کل اسیدهای چرب غیراشباع تک و اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه با محتوای بالای اسیدهای اولئیک، لینولئیک و لینولنیک متمایز می‌شود (Kierończyk et al., 2018) (جدول ۲). لارو سوپرورم ترکیب خوبی از مواد معدنی و ویتامین‌هایی مانند مس، آهن، روی، منیزیم، پتاسیم و فسفر (جدول ۳) و ویتامین‌های E، B12، B3، B2، B5 و H را نشان می‌دهد (Finke, 2015). تولید سوپرورم به دلیل منابع کمی که برای پرورش آنها مورد نیاز است، تاثیر محیط‌زیستی کمی دارد. برای مثال مقدار زمین مورد نیاز برای به‌دست آوردن ۱ کیلوگرم پروتئین از سوپرورم و همچنین مقدار گازهای گلخانه‌ای تولید شده در طی فرایند تولید، کمتر از پرورش مرغ و گاو است. علاوه بر این، ردپای آب مرتبط با تولید سوپرورم به‌ازای هر تن (m^3/t) تقریباً با گوشت مرغ قابل مقایسه است و نسبت به گوشت گاو کمتر است (Miglietta et al., 2015). آنها را می‌توان در طیف گسترده‌ای از بسترها و محصولات جانبی به‌دست آمده از صنایع غذایی پرورش داد. این ویژگی آنها را به یک ابزار تبدیل زیستی عالی تبدیل می‌کند و با مفهوم اقتصاد چرخشی پایدار مطابقت دارد. در سال‌های گذشته، چندین بستر (خوراک حشرات) در پرورش سوپرورم بررسی شده است که خاصیت سازگاری این حشره را برجسته می‌کند. علی‌رغم توانمندی‌های قابل‌توجه سوپرورم، این حشره دارای برخی محدودیت‌ها نیز هست. از سوی دیگر، سوپرورم‌ها می‌توانند به برخی از جنبه‌های ضدتغذیه‌ای نیز مرتبط باشند. عامل اصلی مؤثر بر این ویژگی منفی، مربوط به حضور کیتین است، فیبر نامحلولی که انتظار نمی‌رود در روده کوچک انسان و چندین حیوان هضم شود. شایان ذکر است، کیتین، مانند چندین فیبر دیگر، می‌تواند بر برهمکنش زیستی مواد معدنی نیز تاثیر بگذارد و بنابراین، نقش غیرمستقیم در بدتر شدن ارزش غذایی خوراک و غذا دارد (ارباب، ۱۴۰۱).

استفاده از سوپرورم به‌عنوان خوراک دام

سوپرورم یکی از جذاب‌ترین گونه‌های حشرات، در فرایند جستجوی منابع غذایی جایگزین و پایدار است. استفاده از حشرات به‌عنوان خوراک در دامپروری تابع قوانین متعددی است. مقررات کمیسیون اروپا (EU 2017/893) استفاده از پروتئین حیوانی فراوری شده مشتق شده از چندگونه از حشرات را مجاز دانسته است. به دلیل محدودیت‌های اعمال شده پس از شیوع آنسفالوپاتی‌های اسفنجی قابل انتقال (جنون گاوی) در ابتدای سال ۲۰۰۰، هنوز مجوزی برای استفاده از پروتئین حشرات در سایر دام‌ها مانند نشخوارکنندگان وجود ندارد. گسترش مجوز استفاده از پروتئین حشرات به‌عنوان خوراک برای سایر حیوانات اهلی تک معده‌ای مانند طیور اخیراً توسط اتحادیه اروپا و برخی کشورها مجاز اعلام شده است. در مقابل، چربی‌های مشتق شده از حشرات (روغن حشرات) را می‌توان به‌عنوان خوراک در آبی‌پروری و حیوانات تک معده استفاده کرد.

جدول ۱. مقایسه ترکیبات اسید آمینه لارو سوپرورم (میلی گرم / گرم پروتئین خام) (Jabir et al., 2012)

اسید آمینه	لارو سوپرورم
آسپارتیک اسید	۷۰
سیستین	۰/۸۶
متونین *	۵/۷۵
لیزین *	۳۴
ایزولوسین *	۲۱
لوسین *	۳۰
گلواماتیک اسید	۱۲۵
آرژنین *	۲۲
گلایسین	۲۵
هیستیدین *	۱۴
پرولین	۲۶
فنیل آلانین *	۲۲
سرین	۵
ترونین *	۳۷
والین *	۲۹
تیروزین	۳۷
مجموع اسیدهای آمینه	۵۲۷
مجموع اسیدهای آمینه ضروری	۱۹۹

* اسیدهای آمینه ضروری

جدول ۲. مقایسه پروفایل اسیدهای چرب لارو سوپرورم (گرم در ۱۰۰ گرم اسید چرب) (Kierończyk et al., 2018)

نوع اسید چرب	لارو سوپرورم
Caprylic C8:0	۰/۷۹
Capric C10:0	۰/۲۸
Myristic C14:0	۱/۲۰
Palmitic C16:0	۳۲/۴
Stearic C18:0	۷/۲۸
Arachidic C20:0	۰/۲۱
Palmitoleic C16:1	۱/۳۶
Oleic C18:1	۳۷/۵
c11 Elaidic C18:1	۰/۸۷
Eicosenoic C20:1	۰/۰۹
C20:1t	۰/۵۰
C18:2 c9c12 Linoleic, LA	۱۶/۵
C18:3 c9c12c15 α-Linolenic, LNA	۰/۶۷
سایر اسیدهای چرب	۰/۸۵
اسیدهای چرب اشباع	۴۲/۲
اسیدهای چرب غیر اشباع	۵۷/۸

اشباع

غیر اشباع تکی

غیر اشباع چند تایی

جدول ۳. مقایسه ترکیبات معدنی لارو سوپرورم (میلی گرم / کیلوگرم) (Finke, 2015)

ترکیبات معدنی	لارو سوپرورم
کلسیم	۲۶۲
فسفر	۲۰۹۰
منیزیم	۴۳۵
سدیم	۳۸۵
پتاسیم	۲۸۶۰
کلر	۱۶۳۰
آهن	۱۹/۹
روی	۳۰/۲
مس	۳/۶
منگنز	۳/۷
ید	کمتر از ۰/۱
سلنیوم	۰/۱۰۳

علاوه بر این، حشرات کامل خشک شده یا منجمد (آسیاب نشده)، برای دام‌ها مجاز است، در حالی که استفاده از حشرات زنده به دلیل محتوای غنی پروتئین و انرژی به عنوان خوراک بر اساس قوانین ملی در چند کشور عضو اتحادیه اروپا نیز مجاز شناخته شده است. لارو سوپرورم به صورت زنده و همچنین به شکل آرد و روغن، به عنوان جایگزینی جزئی برای برخی از مواد رایج جیره طیور و آبزیان (مانند کنجاله سویا، روغن ماهی، ذرت و گندم) استفاده می‌شود (Gasco et al., 2018). چندین محقق اثر گنجاندن آرد/ روغن سوپرورم را در خوراک دام به منظور ارزیابی استفاده بالقوه از آنها به عنوان خوراک و تاثیر آنها بر عملکرد رشد دام، سلامت حیوانات و کیفیت گوشت تجزیه و تحلیل کردند. محققین دیگری نیز امکان جایگزینی پودر ماهی با آرد سوپرورم را در تولیدات آبزی پروری، به ویژه با نرخ گنجاندن حداکثر تا ۲۵ درصد را گزارش کردند (ارباب، ۱۴۰۱). جایگزینی آرد ماهی با آرد لارو سوپرورم در جیره غذایی چندین گونه از ماهی‌های خوراکی مانند تیلپایا (*Oreochromis niloticus*) (Jabir et al., 2012, Fontes et al., 2019)، قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Lates calcarifer*) (Prachom et al., 2021)، ماهی سی‌بس آسیایی (*Oncorhynchus mykiss*) (Hosseini Shekarabi et al., 2021)، و همچنین برخی از آبزیان زینتی مانند گویی (*Poecilia reticulata*) (Kowalska et al., 2021) مثبت ارزیابی شده است. به طور مشابه، کنجاله/ روغن سوپرورم جایگزین مناسبی برای کنجاله/ روغن سویا نیز برای پرورش برخی طیور مانند جوجه‌های گوشتی است (Kierończyk et al., 2018).

استفاده از فضولات سوپرورم به عنوان کود

فضولات لاروهای سوپرورم دارای ۳/۰۳ درصد پتاسیم محلول (برحسب K_2O)، ۳/۴۷ درصد ازت کل (برحسب N)، ۰/۰۶۳ درصد کلسیم (Ca)، ۰/۶۲ درصد فسفر کل (P_2O_5) و ۴۴/۶۶ درصد کربن آلی هستند. آنها می‌توانند به روش‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند و به دلیل داشتن محتوای غذایی مناسب برای گیاهان و جذب سریع می‌توان از آن به عنوان یک کود آلی استفاده کرد (ارباب، ۱۴۰۰). چندین پژوهشگر کاربرد بالقوه فضولات سوپرورم را به عنوان یک کود، مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. کوه و همکاران (Koh et al., 2020) کارایی فضولات سوپرملورم را در رشدونمو و ریشه‌زایی کاکتوس *Hyloteus undatus* مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد فضولات این حشره از کارایی بسیار مناسبی در ریشه‌زایی آن برخوردار است و علاوه بر ریشه‌دار شدن ۹۰ درصد قلمه‌ها به افزایش ارتفاع آنها نیز کمک می‌کند. این فضولات می‌تواند به عنوان یک جایگزین جزئی یا کامل کود معدنی (NPK، نیتروژن- فسفر- پتاسیم)، بیشتر در شرایطی که در دسترس بودن کودهای معدنی محدود است، استفاده شود. با این وجود، مطالعات بیشتری برای تعیین زمان صحیح استفاده از کود زیستی و مقدار مصرف آنها مورد نیاز است. فضولات تولید شده توسط لاروها همچنین می‌تواند یک ماده خام عالی برای

تولید بیوپار با کارایی بالا برای حذف فلزات سنگین در تصفیه فاضلاب یا اصلاح خاک باشد. بیوپارهای ساخته شده از این نوع فضولات بهتر از بیوپار ساخته شده از بقایای محصولات زراعی عمل می کند (Bulak et al., 2023).

استفاده از سوپرورم برای تولید بیودیزل

بیودیزل یک سوخت غیرفسیلی است که به دلیل وابستگی به دانه های روغنی و نیاز به زمین های زراعی، تولید آن هزینه بالایی دارد. برای کاهش هزینه بیودیزل، محققان در حال مطالعه منابع جایگزین با هزینه های قابل توجه کمتری هستند که می تواند برای تولید بیودیزل استفاده شود. یکی از این گزینه ها حشرات هستند. در چند سال گذشته، تولید بیودیزل از چربی حشرات مورد توجه قرار گرفته است. این فن آوری بر اساس این واقعیت است که در بدن بسیاری از حشرات، چربی های حاوی اسیدهای چرب اشباع نشده تکی (MUFA) و اشباع نشده چندتایی (PUFA) وجود دارد. در میان اسیدهای چرب برای تولید بیودیزل، اسیدهای چرب اشباع نشده با یک پیوند دوگانه به دلیل توانایی خود برای بهبود رفتار موتور در شرایط آب و هوای سرد، همچنین پایداری اکسیداتیو بیودیزل، از مزیت بیشتری برخوردار هستند (ارباب، ۱۳۹۴). اگرچه انواع مختلفی از حشرات با این قابلیت وجود دارد؛ ولی گونه های کمی برای تبدیل زباله های آلی به بیودیزل مورد مطالعه قرار گرفته اند. سوپرورم یکی از مهمترین آنها است؛ زیرا بیش از ۳۳ درصد وزن خشک لاروها را چربی تشکیل می دهد و می تواند به عنوان یک جایگزین بالقوه برای دانه های روغنی مورد استفاده قرار گیرد. بررسی ها نشان می دهد بیودیزل به دست آمده از چربی لاروها مطابق با استاندارد ASTM D6751 است (Leung et al., 2012).

استفاده از سوپرورم برای تولید بیوگاز

بیوگاز یکی از منابع انرژی سبز است و می تواند از ضایعات کشاورزی (هم از تولیدات گیاهی و هم از تولیدات حیوانی) و صنایع غذایی به دست آید. بقایای گیاهی، فضولات حیوانی و ضایعات مواد غذایی مانند میوه ها و سبزی ها و همچنین لجن حاصل از تصفیه خانه های فاضلاب نمونه هایی از بسترهای رایج برای تولید بیوگاز هستند. پسماندهای پرورش سوپرورم که شامل فضولات و باقیمانده های بستر پرورش هستند دارای پتانسیل تولید بیوگاز هستند. بررسی های اخیر (Bulak et al., 2023) نشان می دهد که پسماندهای پس از پرورش را می توان با استفاده از هضم بی هوازی مزوفیلیک (37 ± 1 درجه سانتی گراد) به مدت ۲۴ روز در بیورآکتور با موفقیت برای بازیابی انرژی در قالب بیوگاز (بیومتان) استفاده کرد.

استفاده از سوپرورم به عنوان منبع کیتین و کیتوزان

کیتین، دومین پلیمر زیستی فراوان در طبیعت پس از سلولز است. کیتین و به ویژه مشتق غیر استیل آن که کیتوزان نام دارد، توجه علمی و صنعتی زیادی را برای کاربرد آن در طیف وسیعی از زمینه ها مانند کشاورزی، بیوتکنولوژی، داروسازی، پزشکی، تصفیه فاضلاب و موارد دیگر به خود جلب کرده است. کاربرد زیاد این مواد به دلیل زیست تخریب پذیری، اثرات ضد میکروبی، ظرفیت جذب و سایر خواص عملکردی ذاتی آنها است. در حال حاضر، منابع طبیعی اصلی کیتین پوسته خرچنگ و میگو است. با این حال، استدلال می شود که در دسترس بودن آنها به شدت به فصلی بودن بستگی دارد و ناپایداری تولید آنها مشهود است. با توجه به این که انتظار می رود بازار جهانی کیتین و کیتوزان با نرخ رشد ترکیبی سالانه ۱۵/۴ درصد افزایش یابد، یافتن منابع جدید به منظور برآوردن این تقاضای رو به رشد به شیوه ای پایدار حایز اهمیت است. استخراج کیتین و کیتوزان از حشرات از نظر روش های استخراج، میزان مصرف مواد شیمیایی، زمان و عملکرد سودمندتر از منابع رایج است (Hahn et al., 2020). یکی از جذاب ترین جایگزین ها استفاده از حشرات و به خصوص استفاده از سوپرورم است. به ترتیب ۴-۶ و ۸ درصد از وزن خشک لارو و حشره کامل سوپرورم را کیتین تشکیل می دهد. بررسی ها نشان می دهد که کیتین سوپرورم بافت به طور قابل توجهی نرم تر از کیتین سخت پوستان داشته و اثرات ضد التهابی عالی نشان می دهد. همچنین، شین و همکاران (Shin et al., 2019) دریافتند که کیتوزان به دست آمده از سوپرورم دارای ساختاری مشابه با کیتوزان تجاری است و در چندین آزمایش فعالیت ضد میکروبی را نشان داده است.

استفاده از سوپرورم برای تجزیه زیستی پسماندهای پلاستیکی

تجزیه زیستی به عنوان تجزیه و جذب ترکیبات پلیمری توسط موجودات زنده و تشکیل محصولات متان CH_4 ، H_2O ، CO_2 و زیست توده تعریف می‌شود (McCarthy, 2003). هر چند نقش حشرات در تجزیه بقایای گیاهی و جانوری از دیرباز مورد توجه قرار گرفته است؛ ولی در دهه اخیر با کشف توانایی برخی از آنها در تجزیه پلاستیک، امکان حل مسئله آلودگی پسماندهای پلاستیکی را بیش از پیش تقویت کرده است. یکی از مهمترین ویژگی‌های لارو سوپرورم، توانایی آنها در تغذیه، تجزیه زیستی و معدنی سازی انواع مختلف پلاستیک‌ها، مانند پلی استایرن یا پلی اتیلن است (Kim et al., 2020). یانگ و همکاران (Yang et al., 2015) نشان داده‌اند که لاروها می‌توانند به طور انحصاری از پلی فوم با سرعت چهار برابر بیشتر از سوسک زرد آرد *Tenebrio molitor* تغذیه کنند و می‌توانند مولکول‌های پلاستیکی با زنجیره طولانی را بلعیده و آنها را به ترکیبات تخریب شده با وزن مولکولی پایین تبدیل کنند.

نتیجه گیری

تغذیه پایدار جمعیت رو به رشد انسانی ضروری است و حشرات می‌توانند با نقش آفرینی در اقتصاد چرخشی به این مهم کمک کنند. استفاده از مفاهیم اقتصاد چرخشی برای تولید پایدار و تجدیدپذیر منابع جدید پروتئین، به‌ویژه با توجه به حشرات، چالشی برای آینده بشریت است. طراحی مجدد زنجیره تولید مواد غذایی اجتناب‌ناپذیر است و لزوماً مستلزم استفاده مجدد برنامه‌ریزی شده از محصولات جانبی و پسماندهای کشاورزی است. سوپرورم می‌تواند علاوه بر کاهش ضایعات و افزایش کارآمدی اقتصاد چرخشی به تولید محصولات جدید از جمله خوراک دام، سوخت، کود و برخی دیگر از فرآورده‌های زیستی کمک کند. پرورش حشرات، به‌ویژه پرورش سوپرورم، می‌تواند کارآمدی اقتصاد چرخشی را هم در کشورهای توسعه یافته و هم در کشورهای در حال توسعه افزایش دهد. بدیهی است راهبردهای بازاریابی و بهبود آگاهی مصرف‌کننده‌ها می‌تواند در موفقیت این فرایند کمک می‌کند.

منابع

- ارباب، ع (۱۴۰۰). ارزیابی امکان استفاده از فضولات حشرات در بهبود وضعیت حاصلخیزی خاک. مدیریت اراضی. دوره ۹ (۱): ۱۳۹-۱۴۷.
- ارباب، ع (۱۴۰۰). بررسی کاربرد حشرات در کاهش پسماندهای پلاستیکی. محیط زیست و توسعه ۱۲ (۳): ۴۱-۵۱.
- ارباب، ع (۱۴۰۱). ارزیابی پسماندهای میوه و سبزی روی شاخص‌های تغذیه‌ای نوزاد سوسک جو، *Zophobas morio* (Fabricius, 1776) برای تغذیه آبزیان پرورشی. تغذیه آبزیان. ۴/۱: ۶۵-۷۴.
- ارباب، ع (۱۴۰۱). حشره‌شناسی صنعتی: جلد دوم: سوسک جو (سوپرورم) (*Zophobas morio* (Col.: Tenebrionidae) آشنایی، پرورش، فراوری و کاربردها. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی. ۱۳۰ ص.
- Bulak, P., Proc-Pietrycha, K., Kaczor, M., Pawłowska, M., & Bieganski, A. (2023). A novel type of biochar from chitinous *Hermetia illucens* waste with a built-in stimulating effect on plants and soil arthropods. *Scientific Reports*. 13: 8306. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-35460-6>.
- Derler, H., Lienhard, A., Berner, S., Grasser, M., Posch, A., & Rehorska, R. (2021). Use Them for What They Are Good at: Mealworms in Circular Food Systems. *Insects* 12, 40.
- Finke, M. D. (2015). Complete nutrient content of four species of commercially available feeder insects fed enhanced diets during growth. *Zoo. Biol.* 34: 554-564.
- Fontes, T.V., Oliveira, K.R.B., Almeida, I.L.G., Orlando, T.M., Rodrigues, P.B., & Costa, D.V. (2019). Digestibility of insect meals for Nile tilapia fingerlings. *Animals* 9, 181-189.
- Gasco, L., Gai, F., Maricchiolo, G., Genovese, L., Ragonese, S., Bottari, T., & Caruso, G. (2018). Fishmeal alternative protein sources for aquaculture feeds. *Feeds for the Aquaculture Sector: Current Situation and Alternative Sources*. Springer International Publishing, 1-28.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M.P., & Hultink, E. 2017. The Circular Economy – a new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143(6):757-768.
- Hahn, T., Tafi, E., Paul, A., Salvia, R., Falabella, P., & Zibek, S. (2020). Current state of chitin purification and chitosan production from insects. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 95: 2775-2795.
- Homrich, A. S., Galvão, G., Abadia, L. G. & Carvalho, M. M. (2018). The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. *Journal of Cleaner Production*, 175: 525-543.

- Hosseini Shekarabi, S.P., Shamsaie Mehrgan, M., & Banavreh, A. (2021). Feasibility of superworm, *Zophobas morio*, meal as a partial fishmeal replacer in fingerling rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, diet: growth performance, amino acid profile, proteolytic enzymes activity and pigmentation. *Aquaculture Nutrition*. 27: 1077–1088.
- Jabir, M.A.R., Jabir, S.A.R., & Vikineswary, S. (2012). Nutritive potential and utilization of super worm (*Zophobas morio*) meal in the diet of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile. *African Journal of Biotechnology*. 11: 6592–6598.
- Kierończyk, B., Rawski, M., Józefiak, A., Mazurkiewicz, J., Świątkiewicz, S., Siwek, M., Szumacher–Strabel, M., Cieślak, A., Benzertiha, A., & Józefiak, D. (2018). Effects of replacing soybean oil with selected insect fats on broilers. *Animal Feed Science and Technology*. 240: 170-183.
- Kim, H.R., Lee, H.M., Yu, H.C., Jeon, E., Lee, S., Li, J., & Kim, D.H. (2020). Biodegradation of polystyrene by *Pseudomonas* sp. isolated from the gut of Superworms (Larvae of *Zophobas atratus*). *Environmental Science & Technology*. 54: 6987–6996.
- Kirchherr, J., Reike, D. & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*. 127, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- Koh, D.W.S., Ang, B.Y., Yeo, J.Y., Xing, Z., & Gan, S. K. (2020). Plastic agriculture using worms: Augmenting polystyrene consumption and using frass for plant growth towards a zero-waste circular economy. *Ecology*. DOI :10.14324/111. 444/000048.v1.
- Kowalska, J., Rawski, M., Homska, N., Mikołajczak, Z., Kierończyk, B., Świątkiewicz, S., Wachowiak, R., Hetmańczyk, K., & Mazurkiewicz, J. (2021). The first insight into full-fat superworm (*Zophobas morio*) meal in guppy (*Poecilia reticulata*) diets: a study on multiple-choice feeding preferences and growth performance. *Annals of Animal Science*. DOI: 10.2478/aoas-2021-0072.
- Leung, D., Yang, D., Li, Z., Zhao, Z., Chen, J., & Zhu L. (2012). Biodiesel from *Zophobas morio* larva oil: Process optimization and FAME characterization. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 51(2): 1036–1040.
- Madau, P., Arru, B., Furesi R., & Pietro, P. (2020). Insect farming for feed and food production from a circular business model perspective sustainability. 12(13):5418.
- McCarthy, S. P. (2003). *Plastics and the Environment*, John Wiley and Sons, Anthony L. Andrady, New Jersey, pp. 359–377.
- Miglietta, P. P., De Leo, F., Ruberti, M., & Massari, S. (2015). Mealworms for food: a water footprint perspective. *Water*. 7: 6190–6203. doi: 10.3390/w7116190.
- Moruzzo, R., Riccioli, F., Espinosa Diaz, S., Secci, C., Poli, G., & Mancini, S. (2021). Mealworm (*Tenebrio molitor*): Potential and Challenges to Promote Circular Economy. *Animals*. 11: 2568. <https://doi.org/10.3390/ani11092568>
- Ojha, S., Bußler, S., & Schlüter O.K. (2020). Food waste valorisation and circular economy concepts in insect production and processing. *Waste Management*. 118: 600-609.
- Prachom, N., Boonyoung, S., Hassaan, M.S., El-Haroun, E., & Davies S.J. 2021. Preliminary evaluation of superworm (*Zophobas morio*) larval meal as a partial protein source in experimental diets for juvenile Asian sea bass, *Lates calcarifer*. *Aquaculture Nutrition*. 27: 1304–1314.
- Rumbos, C.I., & Athanassio, C.G. (2021). The superworm, *Zophobas morio* (Coleoptera: Tenebrionidae): A ‘sleeping giant’ in nutrient sources. *The Journal of Insect Science*. 21:13.
- Shin, C. S., Kim, D. Y., & Shin, W. S. (2019). Characterization of chitosan extracted from Mealworm Beetle (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio*) and Rhinoceros Beetle (*Allomyrina dichotoma*) and their antibacterial activities. *International Journal of Biological Macromolecules*. 125: 72–77.
- Yang, Y., Yang, J., Wu, W., Zhao, J., Song, Y., Gao, L., Yang, R., & Jiang, L. 2015. Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating mealworms: part 1. Chemical and physical characterization and isotopic tests. *Environmental Science & Technology*. 49: 12080–12086.



Environment and Development Journal
Vol. 16, No. 31, Spring & Summer 2025

Journal Homepage: www.iraneiat.ir
Online ISSN: 2783-2554

Superworm (*Zophobas morio*): Capabilities and Challenges to Promote Circular Economy

Abbas Arbab*

* Corresponding Author, Associate, Department of Entomology, Takestan Branch, Islamic Azad University, Takestan, Iran. Email: abbas.arbab@iau.ac.ir

Received: 2024/05/07

Accepted: 2025/06/30

Abstract

In recent years, the circular economy concept has attracted much attention due to its potential importance in sustainable development goals, especially through reconciling economic growth with environmental protection. The use of insects in circular production systems is a good example of this concept. Because insects can convert a wide range of organic waste and by-products of the food industry into materials that can be returned to the consumption cycle. This article examines the ability of superworm larvae (*Zophobas morio*) in rotational production systems by examining its efficiency and application in various industries such as agriculture, food and environment. Superworm production has little environmental impact due to the few resources required for their cultivation, and it can be grown in a wide variety of substrates and by-products obtained from the food industry. This feature makes them an excellent bioconversion tool and fits the concept of a sustainable circular economy. This issue can be the source of many effects due to its economic and environmental effects.

Keywords: Circular economy, Insects, Superworm, Environment

Cite this article: Arbab, A. (2025). Superworm (*Zophobas morio*): Capabilities and Challenges to Promote Circular Economy. *Environment and Development Journal*, 16 (31), 109-117. <https://doi.org/10.22034/eiat.2025.250845>

© The Author(s).

Publisher: Iranian Association for Environmental Assessment



DOI: <https://doi.org/10.22034/eiat.2025.250845>
