مروری بر اقتصاد زیستی چرخشی پسماندهای غذایی تفکیک نشده به کمک حشرات

نسیم گلستانه زاده[a]، مسعود هنرور[b] *

[a] دانشجوی دکترای گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
[b] دانشیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۲۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰
https://dorl.net/dor/20.1001.1.20080123.1402.20.3.4.6 DOI: 10.30495/jftn.2022.69618.11224

چکیده

مقدمه: در حال حاضر پسماندهای غذایی تفکیک نشده در کشور ما از معضلات زیست محیطی و اقتصادی محسوب می‌گردد. این در حالی است که در برخی از کشورها علاوه بر تعیین مقررات تفکیک این پسماندها از مبدا، برای رها سازی اینگونه پسماندها به صورت تفکیک نشده جریمه‌های سنگینی از طرف محاکم قضایی تعیین گردیده و امحاء آنها قوانین و مقررات دقیق و مشخصی دارد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه سعی شده است تا به بررسی آخرین دستاوردها و تحقیقات در این زمینه توسط محققین در کشورهای صنعتی و پیشرفته طی پنج سال اخیر پرداخته شود، تا این دستاوردها بتوانند راهگشای مشکلاتی از این دست در کشورهای درحال توسعه گردد.

یافته‌ها: بیش از ۱۹۰۰ گونه حشره خوراکی شناخته شده وجود دارد. سوسک‌ها، کاترپیلارها، زنبورها، مگس‌ها و مورچه‌ها از محبوب‌ترین آنها محسوب می‌شوند. در این مقاله استفاده از این حشرات خوراکی، که در برخی از کشورها برای مصارف انسانی، استخراج منابع مختلفی نظیر پروتئین و یا به عنوان خوراک دام مورد استفاده قرار می‌گیرند، به عنوان راه حلی برای استفاده از این پسماندهای آلی حاوی پلاستیک، با هدف ایجاد یک چرخه اقتصادی سبز در جهت بازگشت به طبیعت و بهره برداری اقتصادی از آن اشاره گردیده و پرداخته شده است.

نتیجه‌گیری: به طور کلی استفاده از حشرات به عنوان بخشی از چرخه‌های زیستی طبیعی و به عنوان خوراک دام و انسان خصوصا در برخی از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، توانسته است یکی از راه‌حل‌های مقرون به صرفه و اقتصادی برای تعدیل مشکل پسماندهای غذایی تفکیک نشده گردد. این امر خصوصا در کشور ما می‌تواند راه‌گشا بوده و از این حشرات به عنوان تامین کننده منابع پروتئین و خوراک دام و سایر مصارف نظیر؛ استخراج سوخت و مصارف کشاورزی، با توجه به شرایط اقتصادی و ارزی کشور استفاده گردد.

واژه‌های کلیدی: *اقتصاد زیستی، بازیافت، پسماندهای غذایی، پلاستیک، حشرات*

* نویسنده مسئول مکاتبات email: m-honarvar@hotmail.com

مقدمه

اگرچه مطالعات متعددی در مورد پسماندهای غذایی انجام شده است، اما هیچ تعریف استاندارد یا پذیرفته شده بین المللی از این مفهوم وجود ندارد، به طوری که نویسندگان مختلف پسماندهای غذایی را به طرق مختلف تعریف نموده‌اند. طبق تعاریف سازمان غذا و کشاورزی سازمان ملل متحد پسماندهای غذایی یک سوم کل تولید جهانی غذا را به خود اختصاص داده است. سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد، در سال ۲۰۱۳، پسماندهای غذایی را به عنوان، تمامی اقلامی که به قصد مصرف خریداری می‌شوند، اما در نهایت به صورت کلی در هر مرحله از زنجیره غذایی و یا در مراحل خرده فروشی و مصرف، دور ریخته شده و هدر داده می‌شوند وکیفیت خود را از دست داده ویا توسط حیوانات خانگی مصرف می‌گردند، تعریف نموده است. کمیسیون اروپا در سال ۲۰۱۱، پسماندهای غذایی را به عنوان مواد غذایی مصرف نشده یا ناخواسته تعریف می‌کند که می‌تواند پخته یا خام مصرف شود، یعنی ضایعات غذایی که در حین و بعد از تهیه غذا در منازل تولید می‌شوند (Ramukhwatho *et al*., 2018). بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، در واقع هدررفت مواد غذایی به کاهش حجم مواد غذایی خوراکی در سراسر یا بخشی از زنجیره تأمین اشاره دارد و به طور خاص شامل مواد غذایی خوراکی است، که قابل مصرف برای انسان باشند. هدر رفت منابع غذایی در تولید، پس از برداشت و در حین مراحل فرآیند، در زنجیره تامین غذا اتفاق می‌افتد. تلفات مواد غذایی درانتهای زنجیره غذایی (خرده فروشی و مصرف نهایی) به اصطلاح "پسماند مواد غذایی" نامیده می‌شود که مربوط به رفتار خرده فروشان و مصرف کنندگان است (Losses & Waste, 2011). در این پژوهش منظور از پسماندهای غذایی، شامل کلیه باقیماندهای خوراکی و غیرخوراکی مواد غذایی است، حاصل از منازل، کترینگها و آشپزخانه‌های صنعتی و مراکز تجاری است، که ماهیت آلی داشته و تفکیک نگردیده‌اند. براساس آمار گزارش شده توسط سازمان جهانی غذا و خواربار ایران رتبه اول سرانه تولید ضایعات و پسماندهای غذایی در جهان را به خود اختصاص داده و جزو سه کشوری است که بیشترین ضایعات پسماند غذایی را در جهان دارند. آمارها نشان میدهد حدود ۳۰ درصد مواد غذایی در ایران ضایع میشود. آمارهای سازمان جهانی غذا و خواربار رقم تکاندهنده‌ای از ضایعات پسماندهای غذایی در ایران را گزارش می‌دهد(Hasani *et al*., 2019). بر این اساس هر سال ۱/۲ میلیارد تن پسماند غذایی در جهان تولید می‌شود که بیشترین ضایعات مربوط به میوه و سبزیجات، ماهی و غلات است. این در حالی است که ایران ۲/۱ درصد از ضایعات پسماندهای غذایی جهان را به خود اختصاص می‌دهد، که این رقم معادل ۳۵ میلیون تن در سال است. بیشترین ضایعات پسماندهای غذایی در ایران مربوط به نان، میوه و سبزیجات و برنج می‌باشد (Golestanehzadeh & Honarvar, 2021; Hasani *et al*., 2019).

از طرفی با توجه به معضلات پدیده گرمایش زمین، تولید گازهای گلخانه‌ای و نیز آلودگیهای زیست محیطی حاصل از پسماندهای غذایی و نگرانیهای مربوط به این مسئله و همینطور افزایش جمعیت در حالی که تقاضا برای غذا در حال افزایش است، منابع موجود برای تولید مواد غذایی در حال کاهش هستند. گزارش گردیده است که تا سال ۲۰۵۰، تولید مواد غذایی می‌بایست۶۰ درصد در مقایسه با آمار در سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ افزایش یابد تا بتواند تقاضای جمعیت رو به رشد جهانی را برآورده نماید. این در حالی است که بر اساس گزارشات، پرورش و تولید دام ۳۰ درصد از کل زمین‌ها و ۷۰ درصد از زمین‌های کشاورزی موجود بر روی سیاره را جهت تولید ۷۷ میلیون تن پروتئین، حاصل از گیاهان و جانوران، با هدف تولید ۵۸ میلیون تن محصولات پروتئینی برای مصارف انسانی اشغال می‌نمایند (Skrivervik, 2020). از طرفی اگر بخواهیم به پسماندهای غذایی به دقت توجه نماییم به غیر از پسماندهای آلی پسماندهای حاصل از بسته بندیهای پلیمری و پلاستیکی را نیز به وفور در کنار پسماندهای آلی داریم که گاهی جدا کردن آنها از پسماندهای آلی غیر ممکن است و این در حالی است که در جایگاه کنترل و مدیریت پسماندهای غذایی توجه به این امر حائز اهمیت می‌باشد. پلاستیکهایی مثل پلی اورتان‌ها که در صنعت غذا برای بسته‌بندی به وفور استفاده می‌شوند گزینه‌های بازیافت محدودی دارند و احتراق آنها هم برای تولید انرژی‌های زیستی موجب ایجاد گازهای سمی می‌گردد. امروزه تولید و کاربرد پلاستیک در حال افزایش است. در

سال ۲۰۱۵، میزان تولید جهانی پلاستیک به ۳۲۲ میلیون تن رسیده است. با توجه به پایداری شیمیایی، دوام و تجمع زیستی پلاستیک‌ها، مشکل ناشی از آلودگی آنها در محیط زیست به طور فزاینده‌ای بغرنج شده. تا کنون ضایعات پلاستیک در خاک، دریاچه‌ها، گل و لای، اقیانوس‌ها و حتی مکانهایی که بشر در آنجا حضور و فعالیت‌اندکی دارد یا مکانهای متروکه و بدون سکنه، نظیر قطب شمال و جنوب یافت شده‌اند. پسماندهای پلاستیکی در نهایت راه خود را به بدنه‌های آبی و مکان‌های دفن زباله باز می‌کنند و برای چندین دهه در محیط باقی می‌مانند و محیط را آلوده می‌کنند (Khan *et al*., 2021; Shen *et al*., 2019; Siddiqua & Al Mamun, 2020).

- **مدیریت پسماندها**

تا به امروز، تخمین زده می‌شود که سالانه ۱/۳ میلیارد تن پسماندهای جهانی مواد غذایی در محل‌های دفن زباله دفع می‌شوند. در سرتاسر جهان، بیش از ۳۰ درصد غذا از بین رفته و هدر می‌رود، که معادل ۱/۳۲ میلیارد تن غذای تولید شده برای مصرف فردی است، و بیش از ۹۰۰ میلیارد دلار برای اقتصاد جهانی هزینه دارد. پسماندهای زنجیره غذایی، مواد آلی تولید شده برای مصرف انسان است که در مراحل اولیه تولید و خرده‌فروشی دور ریخته شده یا تخریب می‌شوند. پسماندهای غذایی در هر مرحله از زنجیره تامین مواد غذایی تولید می‌شود، که در مرحله خرده فروشی و مصرف آشکارتر است. این مشکل اخلاقی و زیست محیطی جهانی در طول سال‌ها مورد توجه کمپین‌های بسیاری بوده است. به عنوان مثال، اهداف توسعه پایدار سازمان ملل متحد شامل هدف کاهش سرانه پسماندها و تلفات غذا در جهان به نصف بوده که بر نیاز به کاهش قابل توجه تولید پسماند از طریق پیشگیری و کاهش تولید، بازیافت و استفاده مجدد از پسماندها تاکید دارد. مسلما راه‌های زیادی برای کاهش پسماندهای غذایی وجود دارد. هر راه حل ترکیب منحصربفردی است که به مجموعه‌ای از تغییرات رفتاری، تکنولوژیکی و مقرراتی نیاز دارد و همچنین در کنار آن هر راه‌حل دارای مجموعه‌ای از محاسن و معایب مختص به خود می‌باشد (Elleby *et al*., 2021; Lin *et al*., 2013; Mak *et al*., 2020). مالیات زیست محیطی به عنوان یک سیاست قابل توجه برای حل مشکلات زیست محیطی در بسیاری از کشورها و مناطق اعمال گردیده و نتایج خوبی را نشان داده است. به عنوان مثال، اصلاح مالیات زیست محیطی در چین در سال ۲۰۱۶، توانست به صورت موثری انتشار گازهای خروجی صنایع، فاضلاب و زباله‌های جامد را کاهش دهد. همچنین مالیات‌های زیست محیطی مانند مالیات انتشار گازهای گلخانه‌ای و پسماند به سیاست‌های زیست محیطی پایه‌ای در کشورهای اتحادیه اروپا تبدیل گردیده‌اند. برای مثال، علاوه بر مالیات‌هایی مانند مالیات بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، دانمارک در سال ۱۹۸۶ مالیات پسماند را نیز معرفی نمود. مطالعات نشان داده‌اند، که اجرای این سیاست مالیاتی بسیار موفق بوده و با کاهش ۲۶ درصدی زباله‌های ارسالی به محل دفن زباله در دانمارک بین سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۶ و افزایش بازیافت زباله از ۳۵٪ به ۵۰٪ بین سالهای ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۳ گردیده است. همچنین، با توجه به مشکل فزاینده ایجاد آلودگی پسماندهای جامد، متفاوت از مدل سنتی، یک مدل جدید مدیریت پسماندهای جامد EPR[1] توسط بسیاری از کشورهای جهان در دهه‌های اخیر اتخاذگردیده است که هدف آن استفاده از منابع موجود برای کاهش پسماندهای تولید شده توسط مصرف کنندگان است. علاوه بر این، برای انتقال مسئولیت مدیریت محصولات نهایی از دولت‌ها به تولیدکنندگان و با الزام تولیدکنندگان به جمع‌آوری، بازیافت و دفع پسماند محصولات خود، ابتدا مفهوم EPR را به عنوان یک رویکرد اساسی برای توسعه اقتصاد زیستی تحت عنوان اقتصاد سبز معرفی نمودند. این سازمان به دنبال ترویج بازیافت پسماند تحت اصول کارایی و برابری است. این در حالی است که، در مدیریت سنتی پسماند، تولیدکنندگان تنها مسئول تولید و فروش محصولات خود هستند، در حالی که دولت‌ها زباله‌ها را دفع می‌کنند. این بدان معناست که دولت به خاطر عدم مسئولیت تولیدکنندگان در قبال بازیافت و دفع پسماند غرامت می‌دهد. در نتیجه، تولیدکننده بدون اینکه مسئولیت حفاظت از محیط زیست مرتبط با زباله‌ها را بر عهده بگیرد، سود می‌برد (Yi *et al*., 2021).

[1] Extended Producer Responsibility

مدیریت پسماندها به پنج بخش اساسی تقسیم می‌گردد (شکل ۱). این سلسله مراتب در وهله اول اولویت را بر جلوگیری از ایجاد پسماندها می‌گذارد و دفع پسماند را کاهش داده در واقع دفن ضایعات را به گزینه حداقلی مدیریت پسماند تنزل می‌دهد. از میان گزینه‌های مدیریت پسماند در قسمت میانی، استفاده مجدد و بازیافت به بازیابی انرژی ترجیح داده می‌شود، زیرا از نظر زیست محیطی سالم‌تر هستند. استفاده از پسماندهای غذایی به عنوان خوراک در مزارع حشرات امکان کاهش سطح پسماندهای غذایی را فراهم می‌کند و در عین حال خوراک رایگان، مغذی و فراوان برای تعداد فزاینده مزارع حشرات ارائه می‌دهد یا می‌توانند به عنوان منابع پروتئینی یا حتی خوراک در غذای انسان مورد استفاده قرار گیرند (Lin *et al.*, 2013; Skrivervik, 2020).

Figure 1- The waste management hierarchy (Lin *et al.*, 2013)

شکل ۱- سلسله مراتب پسماند

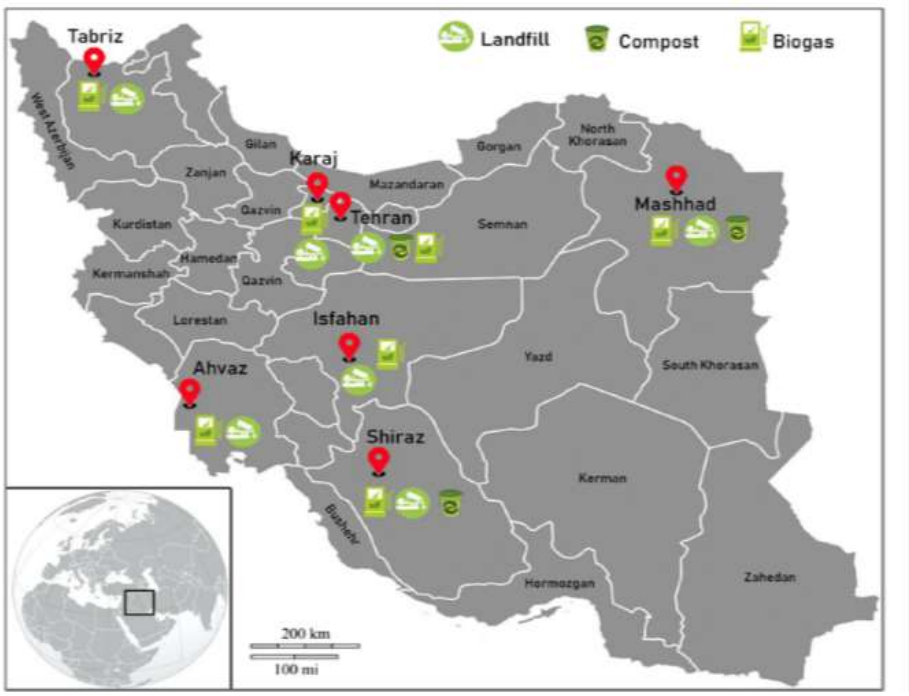

Figure-2 The provinces where the waste management is carried out and also the method of waste management (Rupani *et al.*, 2019).

شکل ۲- استان‌هایی که مدیریت پسماند در آنها انجام می‌شود و نحوه مدیریت پسماندها

متاسفانه مدیریت پسماند در کشور ما ضعیف بوده و تنها در برخی از شهرهای بزرگ ایران به صورت ضعیف شاهد آن هستیم (شکل ۱). همچنین می‌دانید که مدیریت پسماندهای صنعتی از این جهت که مقادیر و مواد و ترکیبات مشخص دارند و حجم آب مشخص دارند و pH آنها کمتر دچار تغییر می‌شود و از طرفی حجم بیشتری دارند بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند در حالی که پسماندهای خدماتی و خانگی به مراتب خطرات بیشتری را متوجه طبیعت و محیط زیست نموده‌اند و اغلب به علت منابع مختلف و پراکنده و همچنین متغیر بودن ترکیبات، رطوبت و pH متغیر کمتر مورد توجه قرار می‌گیرند. نکته‌ای که در این پژوهش وجود دارد امکان استفاده از پسماندهای حاوی پلاستیک و اجتناب ناپذیر و غیر قابل تفکیک است که بیشتر در مقالات تحت عنوان پسماندهای تجاری[1]، توریستی و یا پسماندهای خانگی شناخته می‌شوند و شامل پسماندهای حاصل از کترینگ‌ها، رستوران‌ها، هتل‌ها، کترینگ‌های پروازهای تجاری و غیره است، این پسماندها حدودا ۳۰ درصد از پسماندهای غذایی را تشکیل می‌دهند (Lin *et al*., 2013; Rupani *et al*., 2019). حدود ۸۹ میلیون تن پسماند غذایی هر ساله در اروپا تولید می‌شود از کل ۸۰ در صد ازکل این ارقام شامل ۳۸ درصد پسماندهای صنعتی و ۴۲ درصد مربوط به بخش پسماندهای خدماتی است. مشکل پسماندهای خدماتی و خانگی این است که متفاوت بوده و تمرکز بر روی ماده‌ی خاصی ندارد در مقایسه پسماندهای کشاورزی و صنعتی بهتر جمع آوری و مدیریت می‌شوند. مشکلات اصلی پسماندهای خانگی و خدماتی نظیر پسماندهای کترینگ‌ها مربوط به:

- مشکلات شدید آلودگی به دلیل میزان بالای BOD[2] و COD[3]
- میزان pH و ترکیبات شیمیایی متغیر به دلیل تغییرات فصلی و تغییرات در فرآوری مواد غذایی

از طرفی این پسماندها حاوی مواد مستعد آلودگی بالای باکتریایی نظیر پسماند میوه و سبزیجات است و از سوی دیگر میزان بالای تولید و انباشت که سبب ایجاد مشکلات مدیریتی و بازیافت آنها می‌گردد (Lin *et al*., 2013). در برخی از کشورها از این قبیل پسماندها بر حسب ماهیت آنها استفاده‌هایی نظیر تولید سوخت‌های فسیلی و بیوگاز و یا حتی کودهای زیستی نظیر کمپوست، می‌گردد (Golestanehzadeh & Honarvar, 2021). به طورکلی روش‌های دیگر مدیریت پسماندها بر اساس هرم مدیریت پسماند، (شکل ۱) و در نظر گرفتن عوامل مختلف، نظیر ماهیت و ارزش اقتصادی پسماند متفاوت است. در این مقاله به بررسی راه حل استفاده از حشرات در مدیریت و استفاده از این پسماندها، با هدف ایجاد اقتصاد چرخشی و چرخشی، پرداخته شده است.

- بازیافت

تنها تا سال ۲۰۱۵، از ۶۳۰۰ میلیون تن زباله پلاستیکی تولید شده، ۷۹ درصد در محیط طبیعی (اقیانوس‌ها و سیستم رودخانه‌ها) یا در محل‌های دفن زباله انباشته شده است. این قبیل بقایای پلاستیکی در نهایت تبدیل به پدیده خطرناک تری تحت عنوان میکرو و نانو پلاستیک‌ها می‌گردند که وارد خاک و زنجیر غذایی جانداران سیاره می‌گردد. میکروپلاستیک‌ها، معمولاً به عنوان پسماندهای پلاستیکی بااندازه‌های کمتر از ۵ میلی متر در نظر گرفته می‌شوند. آنها از تکه تکه شدن پلاستیک‌های بزرگتر (ریزپلاستیک‌های ثانویه) و از انتشار مستقیم ذرات پلاستیکی کوچک در نتیجه فعالیت‌های انسانی (ریز پلاستیک‌های اولیه) ناشی می‌شوند. متعاقبا، نانوپلاستیک‌ها بااندازه‌های بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، می‌توانند با تخریب میکروپلاستیک‌ها و یا مستقیماً از منابع خانگی و صنعتی آزاد شوند. امروزه متاسفانه میکرو و نانوپلاستیک‌ها در همه ی محیطهای طبیعی وجود دارند. آنها را می‌توان در هوای داخلی و خارجی، در آب و رسوبات و موجودات زمینی و آبزی یافت. در حالی که تأثیر چشمگیر زیست‌محیطی پسماندهای پلاستیکی به خوبی مورد توجه دانشمندان، سیاست‌گذاران و عموم مردم قرار گرفته، تأثیر آن بر سلامت انسان در نتیجه آلودگی غذا و نوشیدنی‌های ما با میکرو و نانوپلاستیک‌ها تا حد زیادی ناشناخته باقی مانده است. لذا واضح است که در صنعت غذا توجه به این قبیل پسماندها شامل پسماندهای خدماتی و خانگی ضروری و حیاتی است و دفع این قبیل پسماندها و یا حتی سوزاندن آنها راه حل کارآمدی برای مدیریت آنها نیست (Ali *et al*.,

[1] Commercial Food Waste [2] Biological Oxygen Demand [3] Chemical Oxygen Demand

2021; Kundungal *et al*., 2019; Toussaint *et al*., 2019; Wong *et al*., 2020). در برخی از کشورهای پیشرفته مثل چین توسط سیستم‌های تصفیه و بازیافت پیشرفته پسماندهای غذایی و پسماندهای شهری جداسازی و تفکیک می‌شوند. به طور معمول، پسماندهای غذایی حاوی رطوبت بالایی (۷۵ تا ۸۵ درصد وزنی) هستند که بسته به شرایط محلی و فصول متفاوت است. از طرفی اجزای اصلی آلی پسماندهای غذایی معمولاً کربوهیدرات‌ها، لیگنین، پروتئین‌ها، لیپیدها و اسیدهای آلی هستند. محتویات آلی می‌توانند به انرژی و سوخت تبدیل شود، در حالی که به انرژی اضافی برای تبخیراین آب نیاز هست، بنابراین تولید انرژی خالص از پسماندها محدود است و نهایتا به دلیل تفکیک ضعیف، پسماندهای غذایی به ناچار حاوی پلاستیک هستند (Su *et al*., 2020). پس از تفکیک اینگونه پسماندها، مشخصتا از آنها برای تولید و بازیافت به صورت انرژی و یا تولید گاز هلیم استفاده می‌شود. پلاستیک‌ها حتی بعد از تفکیک خودکار در تصفیه خانه همچنان در زباله‌های مواد غذایی وجود دارند. می‌توان پیش‌بینی نمود که محتوای پلاستیک با وجود جداسازی بر اجزای باقیمانده پس از تصفیه زباله تأثیر می‌گذارد. در واقع محتوای پلاستیک کمتر در پسماندهای غذایی باعث افزایش راندمان گازی شدن می‌گردد. علاوه بر این، این قبیل پسماندها به طور کلی در برابر تخریب زیستی مقاوم هستند و برای مدت طولانی در محیط زیست باقی می‌مانند. کشت قارچ‌ها و باکتری‌ها در محیط‌های صنعتی مشتقات شیمیایی با ارزشی را از پلیمرهای پلاستیکی تولید می‌کند، اما هزینه‌های انرژی و زیرساختی از تجزیه زیستی طبیعی این مواد صرفه اقتصادی ندارند. لذا می‌بایست با در نظر گرفتن این معضلات راه حل مفید و مناسبی برای مدیریت اینگونه پسماندهای غذایی ارائه نمود (Khan *et al*., 2021; Su *et al*., 2020).

- تجزیه پلاستیک‌ها

همانطور که گفته شد تفکیک کامل پسماندها از پلاستیک و مواد پلیمری امری نسبی است که حتی در کشورهای توسعه یافته نیز انجام آن به طور کامل امکانپذیر نیست و همانگونه که ذکر گردید راندمان تولید انرژی و بیوگاز در اثر اختلاط اینگونه پسماندها با پلاستیک کاهش می‌یابد و از طرفی حتی برای تولید کمپوست که در مراحل انتهایی هرم مدیریت پسماند قرار دارد نیز مناسب نمی باشد زیرا همانگونه که مستحضر هستید پلاستیک‌ها و پلیمرهای شیمیایی حاوی مواد سمی هستند که برای کشاورزی مناسب نیست. اینگونه پسماندها نهایتا طبق هرم مدیریت پسماندها به اخرین مرحله زنجیره‌ی مدیریت پسماند انتقال یافته و نهایتا دفع شده و یا سوزانده می‌شوند که در هر دو حالت موجب تولید آلودگی‌های زیست محیطی خواهند شد، در صورتیکه تولید آنها تا حدودی اجتناب پذیر بوده و رابطه مستقیمی با فرهنگ سازی در جامعه دارد و می‌توان بخش اجتناب ناپذیر را در نهایت برای استفاده حشرات مورد مصرف قرار داد و مجددا وارد چرخه زیستی و صنعتی نمود (Kesti & Shivasharana, 2018; Siddiqua & Al Mamun, 2020). تخریب پلیمرهای پلاستیک فرآیندی است که رنگ، ساختار و استحکام مواد پلیمری را در شرایط کنترل شده تغییر می‌دهد. فرسودگی[1] پلیمرها با قطع طول زنجیره آغاز می‌گردد و سرعت تخریب توسط عوامل مختلفی نظیر مواد شیمیایی، دما و نور خورشید افزایش می‌یابد. این تغییر در خواص پلیمری تحت عنوان "aging" در فرآیند بازیافت پلیمر برای کاهش بار آلودگی اعمال می‌گردد. توجه به تخریب میکروبی پلاستیک‌ها زمانی پدیدار شد که تخریب پارافین توسط چندین میکروارگانیسم گزارش شد. بعدها میکروارگانیسم‌های مختلف جدا شده از خاک، آب و محل‌های تخلیه گزارش شد. تخریب میکروبی پلاستیک‌ها عمدتاً توسط فعالیت‌های آنزیمی ایجاد می‌شود که در آن پلیمر با زنجیره بلند به الیگومرها و مونومرها تقسیم می‌شود و سپس توسط سلول‌های میکروبی متابولیزه می‌شود. ممکن است متابولیسم هوازی یا بی‌هوازی باشد. وزن مولکولی بالا، آبگریزی و ساختار سه بعدی پیچیده، پلاستیک را برای تجزیه زیستی مقاوم می‌کند (Su *et al*., 2020). تجزیه زیستی به عنوان تجزیه و جذب ترکیبات پلیمری توسط موجودات زنده و تشکیل محصولاتی مانند CO_2، H_20، CH_4 و زیست توده تعریف می‌شود. در تجزیه زیستی و میکروبی پلاستیک‌ها، تخریب باکتریایی هیدروکربن‌ها احتمالاً اولین مورد گزارش شده است. همچنین تخریب

[1]Aging

زیستی پلاستیک‌هایی مانند پلی‌استرها، PHB[1]، PLA[2]، PVA[3]، نایلون و PE[4] نیز گزارش گردیده است. تخریب و تخریب زیستی پلاستیک‌ها شامل فرآیندهای هوازی و بی‌هوازی است. در تجزیه بیولوژیکی هوازی، دی اکسید کربن و آب به عنوان محصولات نهایی تشکیل می‌شوند، در حالی که در فرآیند بی‌هوازی دی اکسید کربن، آب و متان تولید می‌شوند. پیش تیمارهای مبتنی بر حرارت و نور و به دنبال آن تخریب میکروبی تاکنون، کارایی بسیار پایینی در تخریب پلاستیک نشان داده‌اند. اگرچه تاکنون چندین میکروارگانیسم جدا شده از مناطق مختلف گزارش شده است (جدول ۱)، اما عملا هیچ یک از این میکروارگانیسم‌ها موثر واقع نگردیده‌اند. رویکردهای اخیر در مورد تخریب پلاستیک توسط حشرات و میکروارگانیسم‌های روده آنها نتایج بسیار جالبی را نشان داده است. میکروارگانیسم‌های روده و آنزیم‌های گوارشی نقش مهمی در فرآیند فیزیولوژیکی هضم کلی در بدن حشرات دارند (Kesti & Shivasharana, 2018).

- اقتصاد زیستی و زیست پالایی

مسائل زیست‌محیطی و رشد جمعیت جهانی همراه با افزایش تقاضای جهانی برای انرژی، مواد شیمیایی و مواد اولیه در جامعه کنونی، تلاش‌های تحقیقاتی را برای توسعه فناوری‌های کم تأثیر زیست‌محیطی مبتنی بر مواد خام تجدیدپذیر برای دستیابی به چنین اهداف جهانی تقویت کرده است. مواد خام اولیه جایگزین برای مواد خام با منشا فسیلی متعارف در سال‌های اخیر توجه فزاینده‌ای را به خود جلب کرده است و به ایجاد یک الگوی جدید تحت عنوان پالایش زیستی منتهی شده است. مفهوم پالایش زیستی تعامل زیادی را بین دانشمندان در زمینه‌های مختلف از جمله بیوشیمی، زیست‌شناسی، علوم محیطی، اقتصاد و مهندسی شیمی زیستی و سایر رشته‌های مرتبط ایجاد نموده که در تلاش برای افزایش رقابت برای ایجاد و تغییر به یک صنعت مبتنی بر پایه بیولوژی و زیست است که می‌تواند از منابع تجدید پذیر استفاده نماید. استفاده از پسماندها برای پرورش حشرات یکی از راه‌های بازگشت این مواد آلی به چرخه طبیعی و کنترل شده است (Lin *et al*., 2013). در سال‌های اخیر اقتصاد زیستی توجهات زیادی را به خود جلب نموده است و به عنوان بخشی ضروری از راه حلی برای بهبود سیستم غذایی از هم گسیخته ی کنونی در نظر گرفته می‌شود. در اقتصاد کنونی، پسماندهای آلی حاکی از اتلاف و هدر رفت منابع ارزشمندی است که قابل استفاده هستند، لذا در حال حاضر تلاش برای کاهش این اتلاف پسماندها است. اقتصاد زیستی یکی از این تلاش هاست. در اقتصاد زیستی، پسماندهای آلی به خودی خود منبع ارزشمندی هستند و از طریق بهره برداری کامل از پسماندهای آلی بدست می‌آیند و در نتیجه مواد غذایی دور ریخته شده به محصولات با ارزشی مانند مواد زیستی، بیوشیمیایی و دارویی تبدیل می‌شود (Skrivervik, 2020). اقتصاد زیستی چرخشی را می‌توان به عنوان «تولید منابع زیستی تجدیدپذیر و تبدیل این منابع و جریان‌های تولید پسماند به محصولات با ارزش افزوده مانند غذا، خوراک، محصولات مبتنی بر زیست و انرژی زیستی» تعریف کرد. اقتصاد زیستی چرخشی بر ارزش‌گذاری پایدار و کارآمد برای منابع زیست توده در زنجیره‌های تولید یکپارچه و ایجاد چند خروجی برای آنها (مانند پالایشگاه‌های زیستی) تمرکز دارد و در عین حال از پسماندها و ضایعات استفاده می‌کند و ارزش زیست توده را در طول زمان از طریق صنایع پلکانی، بهینه می‌نماید. چنین بهینه‌سازی می‌تواند بر جنبه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی یا اجتماعی مثل ایجاد اشتغال تمرکز کند و در حالت ایده‌آل هر سه رکن پایداری را در نظر بگیرد. هدف مراحل پایین دستی و بالا دستی حفظ کیفیت منابع با پایبندی به هرم ارزش گذاری زیستی و سلسله مراتب پسماند تا حد ممکن است (Stegmann *et al*., 2020).

- مدیریت پسماندهای تفکیک نشده غذایی در راستای اقتصاد چرخشی

مفهوم اقتصاد زیستی چرخشی می‌تواند ابزارهایی را برای تقویت و بهینه سازی پایداری یک سیستم غذایی ارائه دهد. یک چرخه غذایی پایدار می‌تواند پنج مرحله داشته باشد: تولید، فرآوری، توزیع، مصرف غذا و مدیریت پسماندهای غذایی. اگر هر یک از این مراحل به درستی

[1] پلی هیدروکسی بوتیرات‌ها [2] پلی لاکتیک اسید [3] پلی وینیل الکل [4] پلی اتیلن

مدیریت شود، می‌توان به پایداری کلی در چرخه غذا دست یافت. پرورش حشرات موجب می‌شود از منابع محدود واندک موجود در کره زمین که برای تغذیه انسان‌ها مورد نیاز است کمتر استفاده شده و از طرفی عامل جلوگیری از هدر پسماندهای غذایی و در نتیجه کاهش این منابع فراوان و ارزشمند به بهترین نحو می‌شود. بنابراین، پرورش حشرات مفهوم اقتصاد زیستی را ترویج نموده که به

جدول ۱ - میکروارگانیسم‌های قادر به تجزیه زیستی انواع پلیمر

Table 1- Microorganisms which are able to biodegrade all kinds of polymers (Kesti & Shivasharana, 2018)

No	*Microorganisms*	*Type of plastic used*
1	*Bacillus sp.*	*Polyurethane*
2	*Pseudomonas aeruginosa Rhodococcus*	*PVC powder*
3	*Rhodocorrous ATCC 29672 and Nocardia steroids GK911*	*Degradable polyethylene*
4	*Streptococcus sp., Staphylococcus sp., Micrococcus sp., Moraxella sp., and Pseudomonas sp.*	*Polyethylene bags and plastic cups*
5	*Pseudomonas sp. (P1, P2, and P3)*	*Natural and synthetic polyethylene*
6	*Bacillus cereus, Bacillus megaterium, Bacillus subtilis, and Brevibacillus borstelensis*	*LDPE and LLDPE*
7	*Aspergillus flavus and Mucor rouxii NRRL 1835*	*Disposable plastic films*
8	*Aureobasidium pullulans, Rhodotorula aurantiaca, and Kluyveromyces spp.*	*Plasticized PVC*
9	*Penicillium pinophilium and Aspergillus niger*	*Low density polyethylene (LDPE) powder*
10	*Fusarium sp. AF4*	*LDPE*
	Aspergillus spp.	*HDPE*

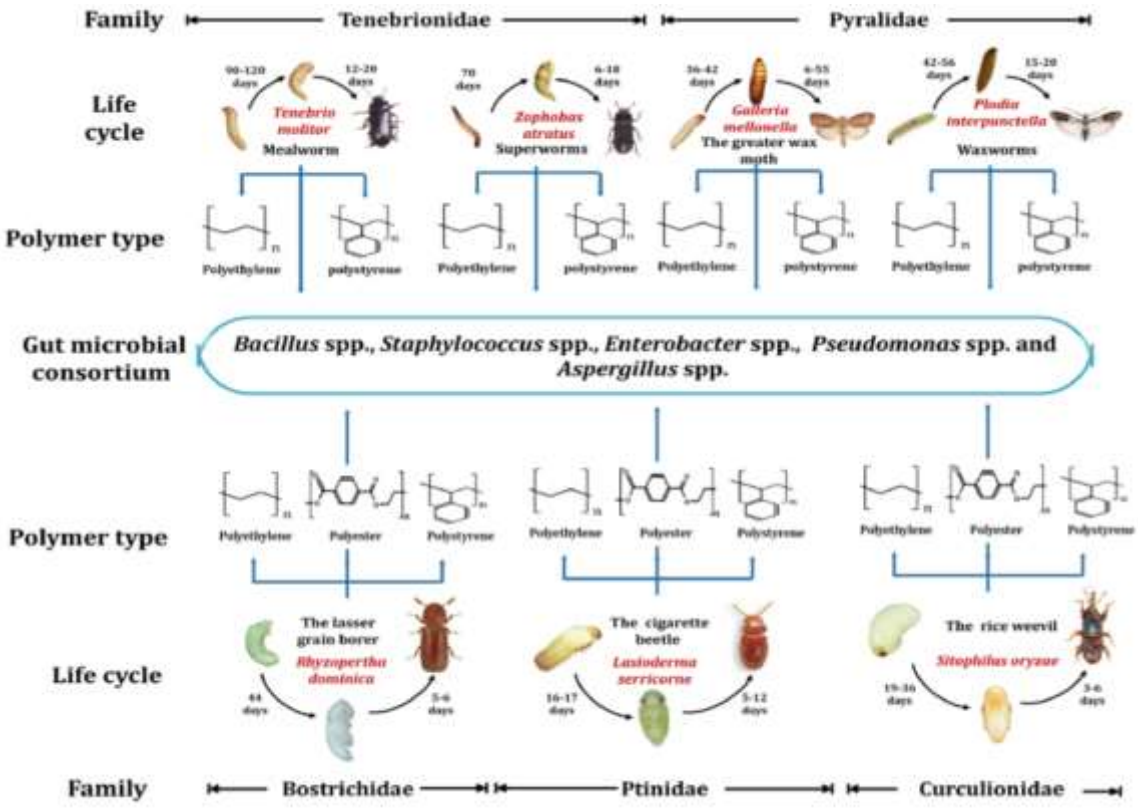

Figure 3- Some examples of insects and their gut microbial that are able to degrade polymers (Ali et al., 2021).

شکل ۳- چند نمونه از حشرات و میکروارگانیسم‌های دستگاه گوارش آنها که قادر به تجزیه پلیمرها هستند.

عنوان«تولید و استفاده پایدار از مواد اولیه و فرآیندهای بیولوژیکی تجدیدپذیر برای تولید خروجی‌های اقتصادی در قالب مواد غذایی، خوراک دام، انرژی، مواد اولیه یا مواد شیمیایی زیستی» تعریف می‌شود. بر اساس این مفهوم، استفاده از لارو حشرات برای تجزیه زیستی پلاستیک به عنوان یک گزینه جذاب برای مدیریت زباله‌های پلاستیکی مطرح می‌شود (Ojha *et al*., 2020; Sanchez-Hernandez, 2021). پرورش حشرات به زمین، آب و خوراک کمتری نیاز دارد، بنابراین پرورش انها نسبت به دام‌های معمولی با محیط زیست سازگارتر است. ضریب تبدیل خوراک برای کریکت خانگی دو برابر کارآمدتر از مرغ، چهار برابر کارآمدتر از خوک‌ها و بیش از ۱۲ برابر کارآمدتر از گاو برآورد شده است. از آنجایی که حشرات خونسرد هستند، نیازی به صرف انرژی زیادی برای ثابت نگه داشتن دمای درونی خود ندارند و لذا برای حفظ سوخت و ساز بدن خود به غذای کمتری نیاز دارند. این امر همچنین بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و ضریب تبدیل خوراک آنها تأثیر می‌گذارد. برخی تحقیقات با مطالعه اینکه آیا حشرات از نظر تغذیه‌ای بر گوشت ارجحیت دارند، به این نتیجه رسیدند که حشرات از نظر تنوع مواد مغذی در مقایسه با گوشت‌های معمولی، دارای تنوع بالاتری به لحاظ مواد مغذی هستند (Gravel & Doyen, 2020; Mishra, 2017; Skrivervik, 2020). تولید حشرات به عنوان خوراک ویژگی‌های جالبی دارد. حشرات می‌توانند به طور موثر بسترهای آلی با درجه پایین را به پروتئین با کیفیت بالا تبدیل کنند. لاروهای BSF[1] و HF[2] را می‌توان بر روی زباله‌های آلی پرورش داد که در غیر این صورت به زباله دان‌ها انتقال می‌یابند و باعث آلودگی محیط زیست می‌گردند. تولید حشرات توسط کشاورزان خرده پا ممکن است دامداران را از خرید نهاده‌های خارجی گران قیمت فارغ کرده و همچنین با فروش حشرات به دامداران محلی، باعث اتصال آنها به اقتصاد محلی می‌شود. بنابراین حشرات می‌توانند به طور موثر چرخه‌های مواد مغذی و اقتصاد زیستی را ایجاد کنند. در سال‌های گذشته، مفهوم «اقتصاد چرخشی» در اکثر کشورها برای مبارزه با پسماندهای غذایی رایج شده است: این یک سیستم اقتصادی منجر به حفظ ارزش اقتصادی پسماند از طریق استفاده و باز استفاده مجدد از آن حفظ می‌نماید و این طرز تفکر نیز رواج بیشتری در میان تولیدکنندگان خوراک پیدا کرده است (Chia *et al*., 2019; Van Huis *et al*., 2021).

- استفاده مجدد حشرات از پسماندهای غذایی

استفاده از حشرات در چرخه مصرف پسماندهای غذایی تفکیک ناپذیر که حاوی پلاستیک هستند نظیر پسماندهای خدماتی و خانگی و سپس استفاده از آنها در صنعت غذا با کاربردهای متفاوت، نظیر خوراک دام و انسان و سایر کاربردهایی که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد، به نظر می‌رسد که می‌تواند یکی از راه حل‌های موثر جهت بهره برداری از این پسماندها و ایجاد ارزش افزوده و تولید محصولات جانبی از پسماندها و رفع معضل ناشی از انها باشد (Kesti & Shivasharana, 2018). پلاستیک برای چندین دهه به‌عنوان یک ماده آلوده کننده اصلی محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفته است. خواص فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی آن مانند استحکام کششی بالا، خواص ازدیاد طول، وزن مولکولی بالا، بی‌اثر بودن و ماهیت آبگریز آن را غیر قابل تجزیه زیستی می‌کند. علیرغم اینکه تخریب محیطی و میکروبی پلاستیک به تفصیل مورد مطالعه قرار گرفته است، اکثر میکروارگانیسم‌های گزارش شده تاکنون در عملکرد خود نسبت به تجزیه پلاستیک محدود هستند. با این حال، رویکردهای اخیر در تخریب پلاستیک با استفاده از کرم‌های حشرات و میکروبیوت روده آنها نتایج جالبی را نشان داده است (شکل ۳). *Plodia interpunctella* (کرم‌های خوراکی هندی)، *Tenebrio molitor* (کرم‌های پودر زرد) و *Galleria mellonella* (کرم‌های مومی بزرگ‌تر) حشراتی هستند که تاکنون در تخریب پلاستیک گزارش شده‌اند (Kesti & Shivasharana, 2018). تجزیه پلی اتیلن به تنهایی توسط میکروب‌ها که در سرتاسر جهان مورد آزمون واقع گردیده است نشان داده است که در دوره ی تقریباً ۳۰ روزه، ۲۰ درصد تجزیه صورت گرفته است. اما تلاش‌های موفقیت‌آمیز در پروانه مومی (*Galleria mellonella*) به تجزیه زیستی سریع PE برای تولید اتیلن گلیکول کمک کرد. این امر نشان دهنده امکان استفاده از کرم‌های

[1] Black Soldier Fly *(Hermetia illucens*)

[2] House Fly *(Musca domestica*)

پلاستیک خوار در تجزیه یا تخریب[1] پلاستیک است و در کنار آن می‌توان میکروب‌های مختلفی را که در تخریب پلاستیک‌ها استفاده می‌شوند، مورد استفاده قرار داد (Cf *et al.*, 2021). برای مثال در تحقیقی که توسط Kundungal و همکارانش در سال ۲۰۱۸ انجام شد گونه‌ای به نام *lesser waxworm* که از انواع مطرح حشرات خوراکی است و قادر به تغذیه از پلاستیک می‌باشد، مورد آزمون قرار گرفت، در این تحقیق از دو منبع تغذیه‌ای استفاده شد یکی موم زنبور عسل که منبع تغذیه طبیعی حشره است و دیگری پلی‌اتیلن، شواهد حاکی از موفقیت آمیز بودن نتایج آزمون بودند و این حشرات هم راستای تغذیه وکس طبیعی از پلیمر نیز تغذیه نمودند و لاروها طی ۱۲ ساعت توانستند پلی اتیلن را تجزیه و تخریب نمایند (Kundungal *et al.*, 2019).

- مزارع حشرات

اعتقاد بر این است که تولید و حمل و نقل دام سهم قابل توجهی (۱۸٪) از فعالیت‌های انسانی را که منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای[2] می‌شود، دارد. هر کیلوگرم گوشت گاو، خوک و مرغ به ترتیب ۱۴/۸، ۳/۸ و ۱/۱ کیلوگرم CO_2 دارند. رشد روزافزون جمعیت جهانی و آگاهی از ناپایداری تولیدات دامی، مصرف کنندگان، شرکت‌ها، سازمان‌ها و دولت‌ها را بر آن داشته است تا استفاده از حشرات را به عنوان گزینه‌ای پایدارتر در نظر بگیرند. این به اصطلاح دام‌های کوچک نسبت به تولید دام‌های سنتی مزایایی نظیر تنوع بیشتر، سطوح تغذیه‌ای بالاتر، راندمان انرژی بالاتر، نرخ تولید مثل بالاتر، اثرات زیست محیطی کمتر و هزینه‌های کمتر را در بر دارد. مزارع حشرات موجود در واقع صنایعی هستند که محصولاتشان یعنی حشرات را برای مصرف و تغذیه انسان یا دام می‌فروشند (Khan *et al.*, 2021; Mishra, 2017).

در حال حاضر، افزایش پسماندهای غذایی درغرب یک معضل جدی زیست محیطی، سیاسی و اجتماعی تلقی می‌گردد. استفاده از پسماندهای غذایی به عنوان خوراک در مزارع حشرات، امکان کاهش سطح پسماندهای غذایی را فراهم نموده و در عین حال خوراک رایگان، مغذی و فراوان برای تعداد فزاینده مزارع حشرات ارائه می‌نماید. به عنوان مثال مزارع حشرات، شامل مزارعی هستند که با هدف تولید و پرورش حشرات با هدف تولید خوراک دام و انسان، می‌توانند از مصرف کنندگان این پسماندهای غذایی باشند. این مزارع و کارخانجات در اغلب مناطق پیشرفته و توسعه یافته جهان نظیر؛ اروپا و آمریکای شمالی وجود دارند. برای مثال نمونه‌هایی از این مزارع؛ *Bugging*، در کشور دانمارک می‌باشد، که از اولین کمپانی‌های پرورش ملخ در کشور دانمارک بوده و حشرات خود را با پسماندهای غذایی سایر کارخانجات غذایی نظیر پالپ سیب شرکت *Syngjas' juice* تغذیه می‌نماید. شرکت *Acheta* درکشور نروژ، آرد ملخ تولید نموده و شرکت *Insekt KBH* در کشور دانمارک، به تولید محصولات تجاری و آبمیوه‌های طبیعی غنی شده با ملخ تحت عنوان؛ " *FEMTEN Fårekyllinger*" می‌پردازد. در کشور ایالات متحده محصولات خوراکی نظیر: چیپس جیرجیرک؛ که حاوی آرد جیرجیرک، ذرت، لوبیا و دانه چیا است و مملو از پروتئین و فیبر، بدون گلوتن و سویا، فاقد اصلاح ژنتیکی[3] و ۱۰۰ درصد طبیعی بوده و با ۳۰ درصد چربی کمتر نسبت به چیپس‌های معمولی تولید می‌گردد. همچنین کارخانجات، *All Things Bugs*، *Chapul*، *Sens* و *Hotlix* به تولید حشرات به صورت پودر و آرد، چیپس و سایر محصولات می‌پردازند. در (جدول ۲) تعدادی از این کارخانجات به همراه کشورهای آنها، محصولات تولیدی و خوراک مصرفی در آنها آمده است (Skrivervik, 2020). فروش محصولات حیوانی نظیر (ماهی، گوشت و تخم مرغ، کنجاله حشرات) در کشاورزی‌های محلی، می‌تواند درآمد خانوارها را تامین کند. بنابراین حشرات می‌توانند به طور موثر چرخه‌های تولید مواد مغذی را تکمیل کنند و از هدر رفتن پسماندهای غذایی نیز جلوگیری کنند زیرا این پسماندها به یک منبع و ماده اولیه تبدیل می‌شوند. استفاده از پسماندهای غذایی در مزارع حشرات دارای دو جنبه کارآمد است. اول اینکه، چندین حشره (مانند ملخ، مگس و جیرجیرک) با پسماندهای غذایی تغذیه و رشد می‌کنند، در حالیکه انسان و دام‌های مرسوم قادر به خوردن آنها نیستند. حشرات این پسماندهای غذایی را می‌خورند و در نتیجه از دفن این پسماندهای ارزشمند و سوزاندن آنها جلوگیری می‌شود. دوم اینکه، از طریق افزودن این حشرات، که در

[1] Degradation [2] Greenhouse Gas [3] Non-Genetically Modified Organisms

ادامه بیشتر به آنها خواهیم پرداخت، به رژیم غذایی انسان‌ها، به اقتصاد زیستی چرخشی کمک می‌گردد. پسماند غذایی، که در غیر این صورت دور ریخته می‌شد برای تغذیه حشرات استفاده می‌شود و مصرف کنندگان (در حالت ایده آل) حشرات را می‌خورند. در عین حال حشرات برای غذاهای مشابه نظیر(غلات و ذرت) با انسان‌ها رقابت نمی کنند (Chia *et al*., 2019).

در فرآیندهای تولید هدف اصلی فرآوری تضمین ایمنی مواد غذایی است. با این حال، برآوردن استانداردهای کیفیت و انتظارات مصرف کننده نیز مهم است.به منظور اطمینان از ایمنی مواد غذایی، فرآوری و نگهداری حشرات باید از همان استانداردهای بهداشت و سلامت نظیرهر غذا یا خوراک سنتی دیگری پیروی نماید. خطراتی که معمولاً در حشرات یافت می‌شوند شامل میکروارگانیسم‌ها و انگل‌های بیماری‌زا، آلرژن‌ها، فلزات سنگین، سموم و سایر آلاینده‌های شیمیایی می‌باشند. انگل‌ها و ویروس‌های بیماری زا نیز می بایست در نظر گرفته شوند، اگرچه هنوز در حشرات خوراکی شناسایی نگردیده‌اند در (شکل-۴) فرآوری و تولید حشرات آورده شده است. تکنولوژی‌های فرآوری حشرات، به گونه‌ای است که به مخاطرات ایمنی و نوع محصول نهایی بستگی دارد. حشرات خوراکی را می‌توان به سه شکل مختلف به بازار عرضه نمود: (۱) کامل (خشک شده، منجمد، از پیش پخته شده) (۲) فرآوری شده و (۳) به صورت عصاره. حشرات کامل به صورت محصولات خشک، منجمد یا سرد شده برای استفاده مستقیم توسط مصرف کننده یا تولید کننده مواد غذایی در دسترس هستند. فرآوری حشرات منجر به تولید پودر یا خمیر می‌گردد که به حشرات اجازه می‌دهد تا در محصولات غذایی یا مستقیماً در ظرف غذای مصرف کننده وارد شوند (Ojha *et al*., 2021b).

جدول ۲- کارخانجات و مزارع حشرات، محصولات آنها، کشورها و منابع خوراک مصرفی آنها

Table 2–Insect factories and farms, their products, countries and feed sources (Skrivervik, 2020)

Farm or company	Specie(s)	Product(s)	Country	Feed
Acheta	crickets	powder, bread	Norway	**unknown**
Aketta	crickets	granola, whole roasted insects, powder	US	**USDA certified organic feed**
All Things Bugs	crickets	powder	US	**unknown**
Bugging Denmark Denmark	crickets	juice, whole roasted insects, powder	Denmark	**leftover produce from other companies including apple pulp, coffee grounds and leftovers from beer production**
Chapul	crickets	protein bars, powder	US	**unknown**
Chirps Chips	crickets	chips	US	**non-GMO and gluten free diet**
Delibugs freeze	worms, crickets, grasshoppers	dried insects, peanut butter, lollipops, granola, chocolate bars, powder	Netherlands	**unknown**
Exo	crickets	protein bars	US	**certified-organic grain-based diet**
Hotlix	ants, crickets, worms	candy, snacks	US	**unknown**
Insekt KBH	crickets	juice	Denmark	**use mushrooms residue developed on used coffee ground from cafes. Unknown if this is the only feed**
Kreca	buffalo worms, crickets mealworms, grasshoppers, whole insects	powder	Netherlands	**unknown**
Proti-Farm	buffalo worms	whole dried larvae, protein powder, protein isolate, purified oil, chitin powder, proti-fertilizer	Netherlands	**vegetable streams and GMP + certified feed**
Sens	crickets	protein bars, powder	England	**unknown**

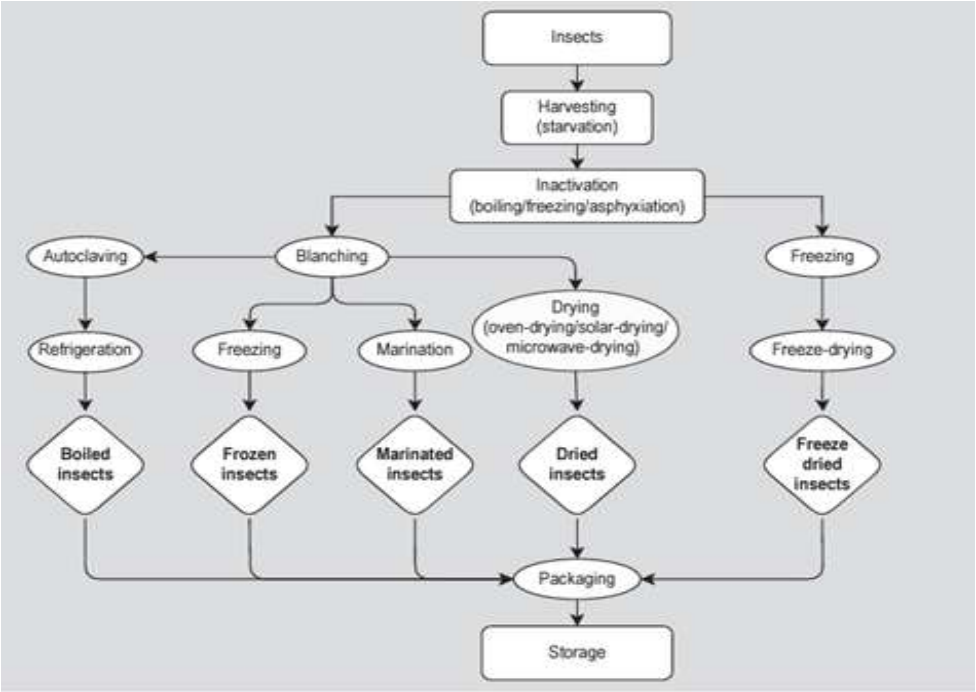

Figure 4- processing stages of whole insect (Ojha *et al.*, 2021b).

شکل ٤- مراحل فرآوری حشره کامل

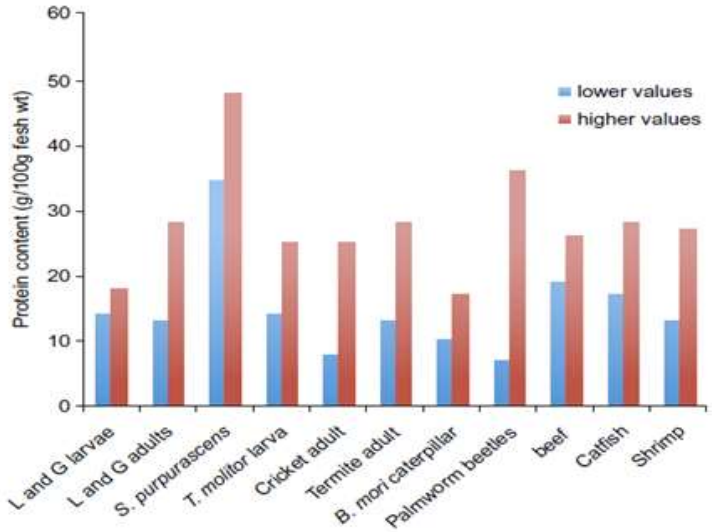

Figure 5- Comparison of protein content of insects and beef, catfish and shrimp
larvae = larvae of locust and grasshopper; L. migratoria, Acridium melanorhodon, Ruspolia differens. L and G adults = locust and grasshopper adults: L. migratoria, A. melanorhodon, R. differens. T. molitor = Tenebrio molitor. B. mori = Bombyx mori. Sphenarium purpurascens adult (chapulines—Mexico). Palmworm beetles = Rhynchophorus palmarum, Rhynchophorus phoenicis, Callipogon barbatus

شکل ٥- مقایسه میزان پروتئین حشرات و گوشت گاو، گربه ماهی و میگو

لارو = لارو ملخ و ملخ ;L. migratoria ،Acridium melanorhodon ،Ruspolia

بزرگسالان ملخ و ملخ = G و L متفاوت است. بزرگسالان: L. migratoria ،A. melanorhodon ،R. متفاوت است = Tenebrio molitor. B. mori = Bombyx mori. Sphenarium purpurascens

بزرگسالان (شاپولین – مکزیک). سوسک کرم خرما = Rhynchophorus palmarum ،Rhynchophorus phoenicis ،Callipogon barbatus

- حقایق تغذیه‌ای حشرات

بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، تعداد افراد مبتلا به سوء تغذیه روزانه در حال افزایش است و تخمین زده می‌شود که در سال ۲۰۱۵ به ۹۲۵ میلیون نفر برسد (Sana *et al.*, 2020). لذا ممکن است در آینده نزدیک با توجه به افزایش جمعیت و کاهش زمین‌های کشارزی، نیاز به جایگزین‌های غذایی، نظیر پروتئین‌های جایگزین حاصل از حشرات باشد، که در تامین غذای این جمعیت روزافزون مناسب و قابل اتکا باشد. در این قسمت به بررسی حشرات خوراکی و ارزش تغذیه‌ای آنها می‌پردازیم تا ببینیم مصرف آنها برای دام و انسان با توجه به شرایط پرورش ایمن در مزارع به چه صورت خواهد بود.

در مورد حشرات خوراکی، لازم است معنای اصطلاح مورد نظر تحت عنوان "خوراکی" توضیح داده شود. این کلمه اغلب برای اشاره به چیزی که خوردن آن خطرناک نیست استفاده می‌گردد. همچنین برای توصیف ماده‌ای که لزوما، ظاهر یا بوی جذابی ندارد استفاده می‌گردد. در واقع این اصطلاح، در مورد مواد غذایی که غیرسمی بوده و برای مصرف بی‌خطر هستند، استفاده می‌شود (Skrivervik, 2020). انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ جمعیت جهان به ۹ میلیارد نفر یا فراتر از آن برسد رود و تقاضای جهانی برای غذا، خوراک و فیبر تا ۷۰ درصد افزایش یابد. حشره‌خواری[1]، مصرف حشرات به‌عنوان غذا، برای قرن‌ها در بسیاری از فرهنگ‌ها رایج بوده است. حشرات در حال حاضر به اشکال مختلف توسط حدود ۲ میلیارد نفر در سراسر آفریقا، آسیا، آمریکای مرکزی و جنوبی و استرالیا مصرف می‌شوند نه تنها به این دلیل که طعم خوبی دارند بلکه به این دلیل که منبع غذایی مقوی و ارزانی هستند. حدود ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ گونه حشره خوراکی ثبت شده در سراسر جهان وجود دارد که تنها کسری از حدود ۱۰۰۰۰۰۰ گونه حشرات توصیف شده تا به امروز را تشکیل می‌دهد. در سطح جهان، حشراتی مانند سوسک‌ها (Coleoptera: 31%)، کرم‌ها (Lepidoptera: 18%)، زنبورها، زنبورها و مورچه‌ها (Hymenoptera: 14%)، انواع ملخ‌ها و جیرجیرک‌ها (Orthoptera: 13%)، سیکادا، leafhoppers، planthoppers، حشرات فلس دار، و حشرات کامل (Hemiptera: 10%)، موریانه (Isoptera: 3%)، سنجاقک (Odonata: 3%)، مگس (Deptera: 2%)، و سایر موارد (۵٪) بیشترین مصرف حشرات در آفریقا، آسیا و آمریکای لاتین است. علیرغم محبوبیت آنها دربرخی از کشورهای در حال توسعه، پذیرش مصرف کنندگان در کشورهای غربی هنوز بسیار کم است، اما این ذائقه ممکن است همانند غذاهایی نظیر سوشی تغییر نماید. حشرات را می‌توان به طور کامل مصرف کرد یا می‌توان آنها را در غذاهای مختلف مانند سالاد، سس، کلوچه و سایر محصولات پخته گنجانید. در (شکل- ۵) مقادیر پروتئین چند حشره خوراکی با مقادیر پروتئین، گوشت گوساله، گربه ماهی و میگو مقایسه گردیده است. این اطلاعات بر اساس گزارش سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد، در سال ۲۰۱۲ و طبق گزارشات جلسه مشاوره فنی ۲۳ تا ۲۵ ژانویه ۲۰۱۲، جهت "ارزیابی پتانسیل حشرات به عنوان غذا و خوراک در تضمین امنیت غذایی" ارائه گردیده است. (Akhtar & Isman, 2018). محتوای پروتئین حشرات بالا بوده و قابلیت هضم بالایی همراه با پروفایل اسیدهای آمینه مناسب به عنوان خوراک دام و هم برای تغذیه انسان داراست. محتوای چربی و ترکیب اسیدهای چرب بسته به گونه، مرحله زندگی، رژیم غذایی و جنسیت متفاوت است. اکثر مواد معدنی در غلظت‌های کافی برای برآوردن نیازهای غذایی حیوانات و انسان‌ها وجود دارند، اگرچه میزان سطوح کلسیم ممکن است بسته به گونه مورد استفاده کم باشد. در حشرات، ویتامین‌های B به‌اندازه کافی وجود دارد، سطح ویتامین A پایین است وغلظت ویتامین E به رژیم غذایی آنها بستگی دارد، در حالی که محتوای ویتامین D به میزان تابش اشعه UV-B در طول رشد حشرات بستگی دارد. فرآوری حشرات ممکن است باعث از بین رفتن ویتامین‌ها و پروتئین‌ها به دلیل حرارت شود (Van Huis *et al.*, 2021). نتایج حاصل از مطالعهStull در سال (۲۰۲۱)، نشان می‌دهد که حشرات می‌توانند به عنوان جایگزینی برای پروتئین‌های سنتی گیاهی عمل کنند و می‌توانند تأثیر مثبتی بر سلامت انسان از طریق: (۱) تأمین اسیدهای آمینه مشابه سویا (۲) بهبود سلامت روده شده و (۳) رفع کمبود ریز مغذی‌ها گردند. در مورد خوراک دام، از آنجایی که به طور طبیعی حشرات در چرخه غذایی

[1] Entomophagy

حیوانات خصوصا طیور و آبزیان نقش اساسی دارد، لذا اگر حشرات واقعاً به عنوان یک جریان خوراک قابل اعتماد برای مهره داران پرورشی و برای صنعت خوراک دام مطرح شوند، به لحاظ ثبات، قابلیت پیش بینی و ایمنی بسیار مهم و قابل توجه هستند. ارزیابی سطح ناخالص ترکیبات مغذی نظیر پروتئین، چربی، ترکیب اسیدهای آمینه حشراتی که به صورت انبوه به عنوان خوراک تولید می‌شوند، حائز اهمیت بوده و حشرات می‌توانند جنبه‌های مختلفی از پاسخ‌های ایمنی تا تاثیر میکروبیوتا برمقاومت در برابر بیماری‌ها را نیز شامل شوند (Van Huis *et al*., 2021). استفاده از حشرات جهت تغذیه و استخراج پروتئین از آنها علاوه بر رفع معضلات بیان شده و با توجه به ویژگی‌های پرورش این موجودات می‌تواند راهگشا و نیز راه حلی دوستار محیط زیست باشد. در گزارش سازمان غذا و کشاورزی در سال ۲۰۱۳ توسط van Huis و همکاران ارائه شد، برای اولین بارحشرات به عنوان یک منبع پروتئین جدید در زمینه کشاورزی و علوم غذایی مورد توجه قرار گرفتند. جدای از استفاده سنتی از حشرات در تغذیه برخی از فرهنگ‌ها، حشرات به دلایل مختلفی یکی از ارکان تغذیه آینده بشر محسوب می‌شوند. در مکان‌هایی که غذاهای مغذی در دسترس نیستند، این امر می‌بایست بیش از پیش مدنظر قرار گیرد، ارزش غذایی حشرات در نظر گرفته شده و مورد استفاده قرار گیرند (Gravel & Doyen, 2020; Mishra, 2017). از آنجایی که هدف اصلی از معرفی محصولات حشرات به فرهنگ غذایی، در واقع ایجاد جایگزینی پروتئین‌های معمول و گران قیمت غذایی است که بیش از حد مورد بهره‌برداری قرار گرفته و تولید آنها برای محیطزیست مضر می‌باشد و از طرفی استفاده از پسماندهای غذایی به‌عنوان خوراک برای این حشرات می‌تواند راه حلی برای معضل پسماندهای غذایی و تبعات ناشی از آن باشد. لذا تحقیقات بیشتر در مورد روش‌های فرآوری بهینه برای به دست آوردن بهترین سازش بین، عملکرد، طعم و مزه ی این قبیل پروتئین‌ها لازم است. مقرون به صرفه بودن، پایداری و ایمنی برای مصرف کننده در پروتئین‌های حشرات می‌بایست منجربه گنجاندن این پروتئین‌ها در صنایع با مقیاس‌های بزرگ و عادات غذایی مصرف‌کنندگان و مردم گردد (Gravel & Doyen, 2020).

- مراحل استخراج کیتین و پروتئین از حشرات

پسماندهای غذایی سرشار از مواد مغذی و آب هستند، از این رو مستعد پوسیدگی سریع‌تر و در نتیجه مشکلات بو و تکثیر بالقوه کپک‌ها، پاتوژن‌های ناشی از غذا یا سموم هستند. دسته‌بندی و بهینه‌سازی زباله‌های آلی خام با ترکیبی ازپیش تیمارهای فیزیکی و بیولوژیکی، مانند همگن‌سازی و پیش تخمیر سازی، به ترتیب می‌تواند برای تثبیت زباله و بهبود ایمنی مواد غذایی موثر باشد. تخمیر اولیه همچنین می‌تواند به افزایش قابلیت هضم و فراهمی زیستی مواد مغذی برای حشرات کمک کند زیرا بیشتر مواد مغذی در ضایعات مواد غذایی خام به شکل نامحلول یافت می‌شوند. ارزش گذاری ضایعات غذایی با استفاده از تخمیر و سپس استفاده از حشرات خوراکی، نتایج امیدوارکننده‌ای را نشان داده است. همچنین تخمیر حشرات خوراکی تولید شده مصرفی برای افزایش ماندگاری محصول و به حداقل رساندن خطرات میکروبی برای مصرف کنندگان در ارتباط با مصرف حشرات خوراکی می‌بایست مورد توجه قرار گیرد (Ojha *et al*., 2020; Varelas, 2019). حشرات فراهمی زیستی لیپید بالایی دارند که این امر می‌تواند در استخراج پروتئین از آنها تداخل ایجاد نماید، از این رو قبل از استخراج می‌بایستی حتما چربی زدایی صورت گیرد. آلودگی زدایی اولین مرحله است و این می‌تواند بیشتر با فرآیندهای حرارتی یا تشعشعی انجام شود. مرحله دوم خشک کردن است که می‌تواند به صورت همرفتی و تماسی یا تابشی انجام شود. خرد کردن (آسیاب کردن یا خورد کردن) مرحله بعدی است. با این حال، برای تسهیل فرآیند آسیاب کردن ممکن است یک مرحله چربی‌زدایی لازم باشد. یکی از مشکلاتی که در هنگام آسیاب کردن لاروها ایجاد می‌شود قهوه‌ای شدن است که به دلیل عوامل آنزیمی یا غیر آنزیمی ایجاد می‌شود. رنگ بری لاروها برای مثال در مگس سرباز سیاه و به دنبال آن آرد کرم زرد قوی‌ترین و در کرم‌های کوچک‌تر کمتر انجام می‌شود. میزان رنگ بستگی به محتوای آهن لارو دارد که بر فنل اکسیداز و پلی فنل‌ها تأثیر می‌گذارد (Ojha *et al*., 2021a). چربی زدایی، مرحله‌ای حیاتی است، قبل از استخراج پروتئین می‌تواند با فشار مکانیکی و روش‌های آبی و مبتنی بر حلال (سوکسله و دی اکسید کربن فوق بحرانی) انجام شود. مشکل استخراج پروتئین و کیتین از حشرات

فرایندهای هزینه بردار استخراج می‌باشد که با استفاده از پسماندهای غذایی به عنوان مواد اولیه و برای تغذیه حشرات این هزینه‌ها مرتفع می‌گردند. برای استخراج پروتئین‌ها، تعدادی فناوری مانند جداسازی الکترواستاتیکی، استخراج آب فوق بحرانی، استخراج میسل معکوس، سیستم‌های دو فازی آبی، استخراج، آنزیمی، مایکروویو، اولتراسوند، انرژی الکتریکی پالسی و استخراج با کمک فشار بالا در دسترس هستند (Van Huis *et al*., 2021; Zielińska *et al*., 2018).

- استفاده به عنوان خوراک دام

تقریباً ۱/۳میلیارد تن پسماندهای غذایی سالانه هدر می‌رود، اما فقط این نیست و در واقع منجر به از دست دادن منابع عظیمی که در تولید مواد غذایی سرمایه گذاری شده است نظیر آب، زمین، سوخت‌های فسیلی نیز منجر گردیده است. همزمان، صنعت خوراک دام در سال ۲۰۱۸ بیش از یک میلیارد تن تولید داشته و گردش مالی بیش از ۳۶۰ میلیارد یورو را ایجاد نموده است. با استفاده از حشرات در تجزیه این قبیل پسماندها در واقع این هدر رفت منابع و پسماندهای ارزشمند غذایی وارد چرخه تولید غذای دام شده و به محصول جانبی و ارزش افزوده تبدیل می‌گردد. پرورش حشرات خوراکی به عنوان یک روش زیست محیطی و گزینه پایدار برای تولید کود frass، مدیریت پسماندهای غذایی انسان و به عنوان منبع پروتئینی برای تغذیه دام در حال افزایش است. هنگامیکه حشرات به صورت کامل و یا خشک شده و یا در ترکیب با سایر مواد مغذی به صورت کیک به جیره غذایی دام افزوده می‌شوند برای مثال وقتی که به جوجه‌های گوشتی لارو کرم زرد آرد به عنوان جایگزین به‌عنوان آنتی‌بیوتیک تجویز شد، در نهایت محتویات اشریشیا کلی و سالمونلا در روده آنها کاهش یافت، در حالی که سطوح سرمی IgG[1] و IgA[2] بهبود یافت. که این اثر به اثرات ترکیبی محتوای کیتین لارو حشرات و پروبیوتیک‌ها نسبت داده شد (El-Hack *et al*., 2020).

- تاثیرات بر بازارهای کشاورزی و ماهیگیری

تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۰، در مجموع به صورت خالص حدود یک میلیارد تن (۱۰۶۶ میلیون تن) پسماند غذایی در سطح جهانی تولید شد که می‌توانست برای تغذیه حشرات استفاده شود. در سال ۲۰۳۰، پیش بینی می‌شود که این میزان تقریباً دو برابر شود. حدود ۶۰ درصد ضایعات غذایی از بخش میوه و سبزیجات و حدود یک چهارم از غلات حاصل می‌شود.

نتایج تحقیقات صورت گرفته، حاکی از آن است که تبدیل زیستی ۵۰ درصد از کل پسماندهای غذایی موجود در کل جهان به کنجاله پروتئینی مبتنی بر حشرات، تأثیر عمده‌ای بر بازارهای کشاورزی و شیلات، به ویژه بازارهای خوراک دام خواهد داشت (شکل-۶). براساس مطالعات Salomone و همکاران در سال (۲۰۱۷)، امکان تولید ۲۹/۶ کیلوگرم لارو خشک از مگس‌های سرباز سیاه[3]، پرورش یافته بر روی ۱ تن ضایعات غذایی، با محتوای پروتئین و چربی به ترتیب ۴۲ و ۳۵ درصد وجود دارد. محتوای چربی ۳۵ درصد به طور قابل توجهی بالاتر از سایر وعده‌های غذایی حاوی پروتئین است. نتایج نشان می‌دهد که صنعت حشرات به طور بالقوه می‌تواند تأثیر زیادی بر قیمت خوراک دام داشته باشد. به طور مثال، اگر ۵۰ درصد از کل پسماندهای غذایی موجود برای تولید حشرات استفاده شود، قیمت پودر پروتئین در سال ۲۰۳۰ تا ۱۷ درصد و قیمت گوشت خوک و مرغ تا ۶ درصد کاهش می‌یابد و تأثیرات بر انتشار گازهای گلخانه‌ای کشاورزی بسیار کم‌تر می‌گردد (Elleby *et al*., 2021; Salomone *et al*., 2017).

- تولید کود Frass

میزان فعلی رشد جمعیت، توسعه استراتژی‌های جدید برای تولید مواد غذایی پایدار را ضروری می‌سازد. همانطور که گفته شد پرورش انبوه حشرات با توجه به مزایایی که نسبت به دام‌های معمولی در تولید پروتئین حیوانی دارد، می‌تواند استراتژی مفیدی در این زمینه باشد. اما توسعه صنایع تخصصی پرورش انبوه حشرات مستلزم تولید مقدار زیادی پسماند و فضولات این حشرات است که می‌بایست مدیریت شود یا برای اهدافی مورد استفاده قرار گیرد. این پسماندها تحت عنوان frass به عنوان کود زیستی برای

[1] Immunoglobulin G [2] Immunoglobulin A [3] BSF

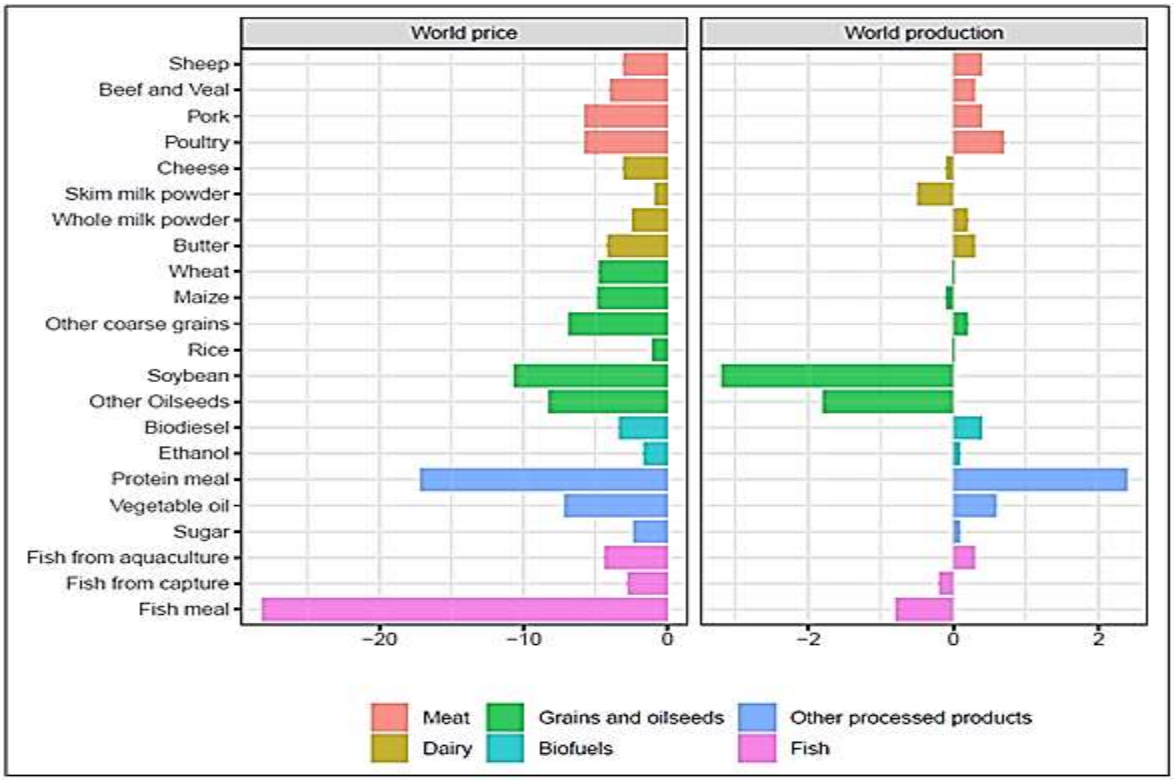

Figure 6- Impacts on world market prices and production in the scenario. Percentage differences between scenario and baseline values in 2030.

شکل ٦- تاثیرات بر قیمت و تولید در بازار جهانی درپیش بینی اولیه و درصد تفاوت مابین مقادیر پیش بینی اولیه و ارزش پایه در سال ۲۰۳۰

کشاورزی موجب: (۱) ایجاد سهم بالای مواد مغذی در خاک و عمدتا نیتروژن، که به راحتی توسط بافت‌های گیاه جذب می‌شوند. (۲) افزودن بیومولکول‌ها و میکروارگانیسم‌هایی که باعث رشد گیاه می‌شوند. و (۳) به علاوه این میکروارگانیسم‌ها موجب افزایش تحمل گیاه به تنش‌های محیطی و مقاومت در برابر عوامل بیماری‌زا و آفات به دلیل وجود ترکیبات و میکروارگانیسم‌های مختلف را افزایش می‌دهند. بنابراین frass؛ حشرات حاصل از پرورش انبوه حشرات برای خوراک دام و غذا می‌تواند منبع مهمی از کود آلی موثر برای استفاده در کشاورزی پایدارباشد. برای مثال بقایای جامد تولید شده توسط فرآوری پسماندهای غذایی از طریق تخمیر میکروبی هوازی توسط لارو مگس سرباز سیاه (BSF) به عنوان کود برای خاک و رشد گیاهان پیشنهاد می‌شود (Poveda, 2021).

- تولید سوخت زیستی

همانطور که گفته شد پسماندهای آلی تفکیک نشده اجتناب ناپذیر، که حاوی پلاستیک هستند، موجب کاهش راندمان تولید سوخت می‌گردند و در کشور خودمان اکثرا سوزانده شده و دفع می‌شوند. اما در صورتیکه بتوان با پیش تیمار پسماندها آنها را تا حدوی تخمیر و به مرحله تولید سوخت‌های زیستی رساند در واقع هم پلاستیک به جای رهایش در محیط تخریب شده و هم به تولید سوخت کمک نموده ایم. در طبیعت چندین میکروارگانیسم به طور قابل توجهی در تخریب زیستی پلاستیک نقش دارند. به همین ترتیب، اهمیت میکروارگانیسم‌های روده حشرات در فرآیند تجزیه زیستی را نمی توان نادیده گرفت (Ali *et al.*, 2021). بیودیزل، سوخت مشتق شده از زیست توده، به دلیل تجدیدپذیری، خواص احتراقی رضایت بخش و مزایای زیست محیطی، در سطح جهانی برای کاهش مصرف سوختهای حاصل از مشتقات نفتی استفاده شده است. برای تولید بیودیزل‌ها عمدتاً از روغن‌های خوراکی مانند روغن آفتابگردان، روغن سویا و روغن پالم استفاده می‌شود. با این حال، هزینه بالای این روغن‌های خوراکی، هزینه تولید بیودیزل را در مقایسه با سوختهای نفتی و فسیلی حدود ۱,۵ برابر افزایش می‌دهد و در نتیجه رقابت اقتصادی بیودیزل را

محدود می‌نماید. علاوه بر این، استفاده از روغن‌های خوراکی برای تولید بیودیزل‌ها ممکن است بر عرضه مواد غذایی نیز تأثیر منفی می‌گذارد و این در حالی است که جمعیت جهان رو به افزایش بوده و ازطرفی با معضل پسماندهای غذایی روبرو هستیم. در میان چنین مواد اولیه، چربی حشرات به دلیل در دسترس بودن حشرات و تولید چربی زیاد آنها توجه زیادی را برای تولید بیودیزل به خود جلب نموده است. تولیدکنندگان چربی حشرات متعددی مانند لارو مگس سرباز سیاه BSFL، لارو مگس خانگی و سوسک کرم زرد آرد، برای تولید بیودیزل شناسایی شده‌اند. به طور خاص، BSFL یا لارو مگس سرباز سیاه به طور گسترده به عنوان منبع بالقوه برای تولید بیودیزل گزارش شده است زیرا چرخه عمر کوتاه، سرعت تولید مثل سریع، و عدم تأثیر منفی بر انسان و محیط زیست دارد (Su *et al.*, 2019).

نتیجه‌گیری

حشرات دارای تنوع بیشتری در همزیستی‌های میکروبی نسبت به بسیاری از گروه‌های جانوری دیگر، به‌ویژه مهره‌داران هستند. این امر می‌تواند آنها را به کارخانجات تبدیلی کوچک برای اهداف انسان‌ها تبدیل نماید. تولید حشرات به عنوان غذا و خوراک دام صنعت نوپایی است که هنوز در حال گسترش است. حشرات برای مصرف انسان می‌توانند به امنیت غذایی کمک کنند و بخشی از راه حل کمبود پروتئین حیوانی در آینده باشند. آنها همچنین انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتری دارند و در مقایسه با مهره داران به فضا، غذا و آب کمتری نیاز دارند. ادغام رژیم غذایی با حشرات می‌تواند پروتئین با کیفیت و سایر مواد مغذی از جمله اسیدهای چرب ضروری، ویتامین‌ها، مواد معدنی و فیبر را به جمعیت در حال رشد انسانی برساند.جدای از مناطقی از جهان نظیر آفریقا، آمریکای لاتین و آسیا شرقی، که مردم به صورت سنتی به مصرف و پرورش حشرات در رژیم غذایی روزانه خود می‌پردازند و با توجه به ارزش غذایی بالای حشرات و صرفه اقتصادی پرورش آنها و نیز گسترش روز افزون رژیم‌های غذایی نظیر خام خواری و گیاه خواری، در حال حاضر مزارع و کارخانجات پرورش حشرات و تولید مواد غذایی مبتنی بر آنها در مناطق توسعه یافته جهان، نظیر کشورهای اروپایی و ایالات متحده آمریکا، با هدف تغذیه انسان و دام، نیز در حال گسترش و توسعه می‌باشد. در نتیجه استفاده حشرات از پسماندهای غذایی تحت شرایط کنترل شده در مزارع و استفاده از آنها به عنوان منابع پروتئینی می‌تواند، یکی از راه حل‌های کم هزینه و با ارزش برای مدیریت پسماندها در جهت اقتصاد زیستی و چرخشی، در کشورهای در حال توسعه نظیر کشورمان ایران باشد. در این زمینه می‌بایست یک چارچوب قانونی مناسب ؛ از جمله قوانین، نهادهای نظارتی و استانداردهای صنعتی، برای نظارت و کنترل بر تولید، جابجایی و استفاده از حشرات وجود داشته باشد، که بتواندایمنی و سلامت حشرات را به عنوان غذا برای مصرف انسان تضمین نماید. تضمین حفاظت از تنوع زیستی، کنترل بیماریها، مدیریت یکپارچه آفات، و بهداشت مسائل کلیدی هستند، که می‌بایست مدنظر قرار گیرند. همچنین تعیین استانداردهای Codex برای مصارف انسانی حشرات، می‌تواند در تنظیم استانداردهای بین المللی برای ایمنی مواد غذایی و قوانین تجارت کمک نماید. تحقیقات راجع به اینکه که چه حشراتی پرورش داده شوند و چگونگی پرورش آنها، شرایط پرورش ایمن وسالم، و چگونگی تبدیل انها به کالایی که برای مصرف قابل قبول و قابل اعتماد باشد ونیز منبع درآمد سودآوری باشد در حالیکه این صنعت هنوز نوپاست راه زیادی در پیش دارد، پیش‌بینی می‌شود که بازار حشرات خوراکی تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۸ میلیارد دلار خواهد رسید. مزیت منحصر به فرد تولید انبوه حشرات خوراکی، تولید محصولات جانبی است که خود می‌توانند به کالاهای ارزشمند تبدیل شوند. چاوز درباره چگونگی استخراج کیتین، فرس و لیپیدها در طی فرآیند تولید انبوه برای تولید تاسیسات بدون زباله بحث می‌کند. کیتین دارای خواص ضد میکروبی و ضد التهابی در حیوانات است و همچنین می‌تواند سلامت گیاهان را تقویت کند. فراس را می‌توان به عنوان کودهای زیستی مشابه کودهای کمپوست سنتی فروخت. یکی از روش‌های جدیدتر تحقیق، استفاده از فرس حشرات به عنوان منبع پروتئین برای گاوهایی است که به علوفه‌های با کیفیت پایین محدود می‌شوند. پس از استخراج پروتئین، لیپیدها، دومین جزء بزرگ حشرات، پس از پروتئین می‌توانند به عنوان سوخت زیستی تصفیه شوند. حشرات را می‌توان برای تبدیل ضایعات کشاورزی که

دارای لیگنین و سلولز بالا هستند و پردازش آنها سخت است، به سوخت زیستی، جایگزین ارزان‌تری نسبت به سوخت‌های زیستی مبتنی بر محصولات کشاورزی، استفاده کرد. برخی از اسیدهای چرب موجود در حشرات مانند اسید اولئیک و اسید پالمیتیک دارای مزایای ایمنی بخشی برای پستانداران هستند و خواص کیتین، فرس و لیپیدها بر ایمنی گیاهان و حیوانات و مقاومت در برابر بیماری شناخته شده است. در نتیجه راه‌های سودآور تحقیقات آینده شامل هدایت مجدد و بهینه‌سازی پسماندها به محصولات زیستی خواهند بود.

دانش ما در مورد اهمیت استفاده از جوامع میکروبی در اکوسیستم‌های طبیعی و سلامت فردی با سرعت قابل توجهی در حال رشد است. میکروب‌ها بر جنبه‌های متعددی از دوره‌های زندگی حشرات مانند، تخم گذاری و رشد و نمو تأثیر می‌گذارند. میکروبیوم روده آن‌ها می‌تواند بر نحوه پردازش و فرآوری مجدد جریان‌های پسماند و تبدیل پسماندهای بی‌کیفیت به پروتئین حشرات با کیفیت بالا تأثیر بگذارد. میکروب‌ها را می‌توان در جریان‌های پسماند نیز به کار برد تا از فساد پسماندها در صنایع و منازل و تولید انبوه پسماندها جلوگیری شود. اگرچه توجه به اهمیت میکروب‌ها در توسعه حشرات خوراکی افزایش یافته است، محققان تاکید دارند، که بسیاری از این تجربیات بر اساس مطالعات آزمایشگاهی بوده و به طور مستقیم با مقیاس‌های تولید انبوه قابل انتقال نیستند، در نتیجه این امر می‌تواند زمینه‌های تحقیقاتی زیادی را برای انتقال مطالعات مبتنی بر آزمایشگاه را به مقیاس‌های تولید انبوه صنعتی فراهم نماید.

References

Akhtar, Y. & Isman, M. B. (2018). Insects as an alternative protein source. In Proteins in food processing (pp. 263-288). Elsevier.

Ali, S. S., Elsamahy, T., Koutra, E., Kornaros, M., El-Sheekh, M., Abdelkarim, E. A., Zhu, D. & Sun, J. (2021). Degradation of conventional plastic wastes in the environment: A review on current status of knowledge and future perspectives of disposal. Science of The Total Environment, 771, 144719.

Cf, S. F., Rebello, S., Mathachan Aneesh, E., Sindhu, R., Binod, P., Singh, S. & Pandey, A. (2021). Bioprospecting of gut microflora for plastic biodegradation. Bioengineered, 12(1), 1040-1053.

Chia, S. Y., Tanga, C. M., van Loon, J. J. & Dicke, M. (2019). Insects for sustainable animal feed: Inclusive business models involving smallholder farmers. Current Opinion in Environmental Sustainability, 41, 23-30.

El-Hack, A., Mohamed, E., Shafi, M. E., Alghamdi, W. Y., Abdelnour, S. A., Shehata, A. M., Noreldin, A. E., Ashour, E. A., Swelum, A. A. & Al-Sagan, A. A. (2020). Black soldier fly (Hermetia illucens) meal as a promising feed ingredient for poultry: A comprehensive review. Agriculture, 10(8), 339.

Elleby, C., Jensen, H. G., Domínguez, I. P., Chatzopoulos, T. & Charlebois, P. (2021). Insects Reared on Food Waste: A Game Changer for Global Agricultural Feed Markets? EuroChoices, 20(3), 56-62.

Golestanehzadeh, N. & Honarvar, M. (2021). Enhancing the Halal Food Industry by Utilizing Food Wastes. Journal of Halal Research, 4(2), 60-76. [In Persian]

Gravel, A. & Doyen, A. (2020). The use of edible insect proteins in food: Challenges and issues related to their functional properties. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 59, 102272.

Hasani, M., Iranmanesh, M., Amiri, H. & Rahmati, M. (2019). Energy analysis and experimental investigation on the effective parameters to improve process for biogas production from food waste. Fuel and Combustion, 12(3), 73-86. [In Persian]

Kesti, S. S. & Shivasharana, C. (2018). The role of insects and microorganisms in plastic biodegradation: A comprehensive review. Int. J. Sci. Res. in Biological Sciences Vol, 5, 6.

Khan, S., Dong, Y., Nadir, S., Schaefer, D. A., Mortimer, P. E., Xu, J., Ye, L., Gui, H., Wanasinghe, D. N. & Dossa, G. G. (2021). Valorizing plastic waste by insect consumption. Circular Agricultural Systems, 1(1), 1-9.

Kundungal, H., Gangarapu, M., Sarangapani, S., Patchaiyappan, A. & Devipriya, S. P. (2019). Efficient biodegradation of polyethylene (HDPE) waste by the plastic-eating lesser waxworm (Achroia grisella). Environmental Science and Pollution Research, 26(18), 18509-18519.

Lin, C. S. K., Pfaltzgraff, L. A., Herrero-Davila, L., Mubofu, E. B., Abderrahim, S., Clark, J. H., Koutinas, A. A., Kopsahelis, N., Stamatelatou, K. & Dickson, F. (2013). Food waste as a valuable resource for the production of chemicals, materials and fuels. Current situation and global perspective. Energy & Environmental Science, 6(2), 426-464.

Losses, F. G. F. & Waste, F. (2011). Extent, causes and prevention. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Mak, T. M., Xiong, X., Tsang, D. C., Iris, K. & Poon, C. S. (2020). Sustainable food waste management towards circular bioeconomy: Policy review, limitations and opportunities. Bioresource technology, 297, 122497.

Mishra, G. (2017). Insects as Food. In Industrial entomology (pp. 413-434). Springer.

Ojha, S., Bußler, S., Psarianos, M., Rossi, G. & Schlüter, O. (2021a). Edible insect processing pathways and implementation of emerging technologies. Journal of Insects as Food and Feed, 7(5), 877-900.

Ojha, S., Bußler, S., Psarianos, M., Rossi, G. & Schlüter, O. (2021b). Edible insect processing pathways and implementation of emerging technologies. Journal of Insects as Food and Feed, 7, 5.

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.

Poveda, J. (2021). Insect frass in the development of sustainable agriculture. A review. Agronomy for Sustainable Development, 41(1), 1-10.

Ramukhwatho, F., duPlessis, R. & Oelofse, S. (2018). Preliminary drivers associated with household food waste generation in South Africa. Applied Environmental Education & Communication, 17(3), 254-265.

Rupani, P. F., Delarestaghi, R. M., Abbaspour, M., Rupani, M. M., El-Mesery, H. S. & Shao, W. (2019). Current status and future perspectives of solid waste management in Iran: a critical overview of Iranian metropolitan cities. Environmental Science and Pollution Research, 26(32), 32777-32789.

Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S. & Savastano, D. (2017). Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using Hermetia illucens. Journal of cleaner production, 140, 890-905.

Sana, A., Noora, L., Salma, K. & Noor, A. E. (2020). Effective policies to mitigate food waste in Qatar. African journal of agricultural research, 15(3), 343-350.

Sanchez-Hernandez, J. C. (2021). A toxicological perspective of plastic biodegradation by insect larvae. Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology, 248, 109117.

Shen, M., Zhang, Y., Zhu, Y., Song, B., Zeng, G., Hu, D., Wen, X. & Ren, X. (2019). Recent advances in toxicological research of nanoplastics in the environment: A review. Environmental Pollution, 252, 511-521.

Siddiqua, S. & Al Mamun, A. (2020). An Inclusive Review on Recent Status of Plastic Biodegradation. International Journal of Approximate Reasoning, 8, 42-54.

Skrivervik, E. (2020). Insects' contribution to the bioeconomy and the reduction of food waste. Heliyon, 6(5), e03934.

Stegmann, P., Londo, M. & Junginger, M. (2020). The circular bioeconomy: Its elements and role in European bioeconomy clusters. Resources, Conservation & Recycling: X, 6, 100029.

Su, C.-H., Nguyen, H. C., Bui, T. L. & Huang, D.L. (2019). Enzyme-assisted extraction of insect fat for biodiesel production. Journal of cleaner production, 223, 436-444.

Su, H., Liao, W., Wang, J., Hantoko, D., Zhou, Z., Feng, H., Jiang, J. & Yan, M. (2020). Assessment of supercritical water gasification of food waste under the background of waste sorting: Influences of plastic waste contents. International Journal of Hydrogen Energy, 45(41), 21138-21147.

Toussaint, B., Raffael, B., Angers-Loustau, A., Gilliland, D., Kestens, V., Petrillo, M., Rio-Echevarria, I. M. & Van den Eede, G. (2019). Review of micro-and nanoplastic contamination in the food chain. Food Additives & Contaminants: Part A, 36(5), 639-673.

Van Huis, A., Rumpold, B., Van der Fels-Klerx, H. & Tomberlin, J. (2021). Advancing edible insects as food and feed in a circular economy. Journal of Insects as Food and Feed, 7(5), 935-948.

Varelas, V. (2019). Food wastes as a potential new source for edible insect mass

production for food and feed: A review. Fermentation, 5(3), 81.

Wong, S. L., Nyakuma, B. B., Wong, K. Y., Lee, C. T., Lee, T. H. & Lee, C. H. (2020). Microplastics and nanoplastics in global food webs: A bibliometric analysis (2009–2019). Marine pollution bulletin, 158, 111432.

Yi, Y., Liu, S., Fu, C. & Li, Y. (2021). A joint optimal emissions tax and solid waste tax for extended producer responsibility. Journal of cleaner production, 314, 128007.

Zielińska, E., Karaś, M. & Baraniak, B. (2018). Comparison of functional properties of edible insects and protein preparations thereof. Lwt, 91, 168-174.

Food Technology & Nutrition / Summer 2023 / Vol. 20 / No. 3

Review of Unsegregated Food Wastes' Circular Bioeconomy by Insects' Assistance

N. Golestanehzadeh[a], M. Honarvar[b]*

[a] PhD Student of the Department of Food Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

[b] Associate Professor of the Department of Food Science and Technology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 20 September 2022 Accepted: 31 December 2022

Abstract

Introduction: Currently, unsegregated food waste in our country is one of the environmental and economic problems. while in some countries, there are some precise superseded and retributive legal rules to prevent the release of not separated household or commercial food waste, thus, refusal these orders are accompanied by financial or social penalties.

Materials and Methods: The last 5 years literature review on the management of these kind of wastes have been reviewed. Results: There are over 1,900 known species of edible insects. Cockroaches, caterpillars, bees, flies, and ants are the most popular. In this article, the use of these edible insects, which are used in some countries for human consumption, extraction of various sources such as protein or animal feed, has been mentioned and discussed as a solution for the use of these nonseparated food wastes containing plastics, which consequently, could be the aim of creating a green economic cycle for returning to nature and make economic exploitation.

Results: Totally, the use of insects as a part of natural life cycles and as food and feed, especially in some developed and developing countries, has become one of the cost-effective and economic solutions to adjust the problem of non-separated food waste.

Conclusion: Considering the country's economic and currency conditions, this can be an alternative solution, and these insects can be used as a source of protein for food and feed, or be used for biodiesels or agricultural purposes.

Keywords: *Bioeconomy, Food waste, Insects, Plastic, Recycle.*

* Corresponding Author: m-honarvar@hotmail.com

علوم غذایی و تغذیه / تابستان ۱۴۰۲ / سال بیستم / شماره ۳