

بررسی کاربرد حشرات در کاهش پسماندهای پلاستیکی

*عباس ارباب

دانشیار گروه حشره‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، تاکستان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۱۰/۰۶

چکیده

میلیارها تن پسماندهای پلاستیکی ضرورت توجه بیش از پیش به این چالش محیط‌زیستی را آشکار می‌سازد. ناکارآمدی و عوارض روش‌های موجود، بهره‌مندی از روش‌های جدید را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. حشرات با صدها میلیون سال قدمت در طی روند تکاملی خود روابط همزیستی مناسبی را با انواع میکروارگانیسم‌ها برقرار ساخته‌اند و توانسته‌اند انواع پلیمرهای هیدروکربنی مشابه پلاستیک‌های امروزی را تجزیه نمایند. سخت‌بالپوشان، بالپولکداران و راست‌بالان مهمترین راسته‌های حشرات هستند که دارای گونه‌های پلاستیک‌خوار هستند. آنها می‌توانند از انواع پلاستیک‌های رایج مانند پلی‌اتیلن، پلی‌استایرن، پلی‌پروپیلن، پلی‌وینیل‌کلراید و پلی‌اورتان تغذیه کرده و به زیست‌توده‌ی ارزشمند تبدیل کنند. سوسک جو، سوسک زرد آرد و پروانه موم خوار به ترتیب می‌توانند بدون غذای کمکی ۴/۳، ۱/۷، ۵/۹ میلی‌گرم در گرم وزن زنده در روز از پلی‌اتیلن تغذیه نمایند. این معیار برای لارو پروانه برنج ۴۲ میلی‌گرم در روز است. جیرجیرک دونقطه‌ای تنها حشره‌ای است که توانایی تجزیه‌ی پلی‌اورتان به میزان ۰/۲۸ میلی‌گرم در روز را داراست. کارایی گونه‌های برتر و سودمندی آنها در این مقاله مورد بحث قرار گرفته است.

کلید واژه‌ها: حشرات، آلودگی‌های محیط‌زیستی، پلاستیک، بازیافت

سرآغاز

«پلاستیک» که از کلمه یونانی "plastikos" به معنی شکل‌های مختلف گرفته شده است، عمدتاً از مواد پتروشیمی مشتق شده و حاوی پلیمرهای هیدروکربن زنجیره بلند با وزن مولکولی بالا می‌باشد. آنها حیاتی‌ترین محصول مصنوعی هستند که حجم بالایی از تولید و مصرف را به خود اختصاص داده‌اند. از زمانی که اولین پلاستیک در سال ۱۹۵۰ با حجم تولید ۱/۵ میلیون تن در سال به بازار عرضه شده است، تولید جهانی آن رشد چشمگیری داشته است بطوریکه در سال ۲۰۱۹ این رقم به ۳۶۸ میلیون تن رسیده است (Kasirajan & Ngouajio, 2012, Kesti & (Shivasharana, 2018, Diyana et al., 2021). از طرف دیگر در طی دو سال گذشته نیز شیوع همه‌گیری بیماری کووید-۱۹ و مصرف بی‌سابقه‌ی تجهیزات محافظتی پلاستیکی مانند ماسک و دستکش‌های یکبارمصرف که از مواد پلاستیکی با دوام بالا مانند پلی پروپیلن، پلی استایرن، پلی اتیلن و پلی استر ساخته می‌شوند، به این روند شتاب بیشتری داده است. (Alang, 2021). هرچند پلاستیک‌ها از مزایای زیادی مانند وزن کم، توانایی حفظ مواد غذایی، قابلیت شکل‌پذیری، اقتصادی بودن و ایمنی الکتریکی برخوردار هستند، ولی بدون شک دوام زیاد، مهمترین ویژگی مثبت و منفی آنها محسوب می‌شود. این ویژگی، تخریب زیستی آنها در طبیعت را با دشواری مواجه نموده و موجب حضور این آلاینده به میزان به بیش از ۵ میلیارد تن در محیط زیست و ورود آن به زنجیره غذایی شده است (Geyte et al., 2017). از طرف دیگر به این حجم از زباله‌ی پلاستیکی، سالانه ۳۰۰ میلیون تن نیز اضافه می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد عملاً روش‌های موجود نتوانسته است راه حلی مطمئن برای دفع و بازیافت زباله‌های پلاستیکی ارائه دهد. بطوریکه در ایالات متحده آمریکا سالانه یک تریلیون کیسه پلاستیکی تولید می‌شود که در این میان تنها ۵ درصد آنها بازیافت می‌شوند (Ghosh, et al., 2013). بر اساس خواص حرارتی، پلاستیک‌ها به عنوان پلیمرهای ترموپلاستیک و گرما گیر طبقه بندی می‌شوند. ترموپلاستیک‌ها دارای وزن مولکولی بین ۲۰ تا ۵۰۰ هزار آمو می‌باشند و می‌توان آنها را هنگام گرم شدن به هر شکلی قالب بندی کرد. مهمترین ترموپلاستیک‌ها عبارتند از پلی اتیلن (PE)، پلی استایرن (PS)، پلی پروپیلن (PP) و پلی وینیل کلراید (PVC). از طرف دیگر پلیمرهای حرارتی مانند پلی

اورتان‌ها و فنل فرمالدئید توانایی شکل‌پذیری مجدد را ندارند. آنها معمولاً در برابر تجزیه زیستی مقاومت کرده و قابلیت بازیافت محدودی دارند (Ghosh et al., 2013).

تجزیه زیستی پلاستیک

تجزیه زیستی به عنوان تجزیه و جذب ترکیبات پلیمری توسط موجودات زنده و تشکیل محصولاتی مانند CH_4 ، H_2O ، CO_2 در میان زیست توده تعریف می‌شود (McCarthy, 2003). در میان موجودات زنده‌ی تجزیه‌کننده پلاستیک احتمالاً باکتری‌ها اولین گزارش‌های قابل استناد را به خود اختصاص داده‌اند (Kesti & Shivasharana, 2018). کنجکاو در مورد تجزیه زیستی پلاستیک‌ها هنگامی ظاهر شد که تخریب پارافین توسط چندین میکروارگانیسم به اثبات رسید (Starneckar & Menner, 1996). تجزیه بیولوژیکی پلاستیک‌ها که توسط فرایندهای هوازی و بی‌هوازی صورت می‌گیرد شامل انواع پلاستیک‌ها مانند پلی استرها، پلی هیدروکسی بوتیراتها (PHB)، اسید پلی لاکتیک (PLA)، پلی وینیل الکل (PVA)، نایلون و پلی اتیلن (PE) می‌شود. در تجزیه هوازی، دی اکسید کربن و آب به عنوان محصولات نهایی تشکیل می‌شوند، در حالی که در فرآیند بی‌هوازی علاوه بر دی اکسید کربن و آب، متان نیز تولید می‌شود (Gu, 2003). وزن مولکولی بالا، آبریزی و ساختار پیچیده سه بعدی، پلاستیک‌ها را در برابر تجزیه زیستی مقاوم می‌کند. برای مثال پلاستیک‌هایی که دارای ساختارهای کریستالی هستند، تخریب دشوارتری را تجربه می‌کنند. علاوه بر این، مواد افزودنی، تثبیت‌کننده‌ها، شکل فیزیکی پلیمر و ترکیب مولکولی نیز بر سرعت تخریب پلاستیک تأثیر می‌گذارد. تا کنون نقش حدود ۵۰ گونه از موجودات تک‌یاخته‌ای مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها و ریزجلبک‌ها و چند یاخته‌ای مانند حشرات در تخریب پلاستیک اثبات شده است. در این نوشتار ضمن تمرکز بر معرفی حشرات تجزیه‌کننده‌ی پلاستیک، کارایی آنها نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

حشرات

حشرات به عنوان متنوع‌ترین موجودات روی زمین شناخته شده‌اند. گونه‌های زیادی از آنها دارای رژیم غذایی پوسیده‌خواری بوده و به عنوان تجزیه‌کننده در طبیعت شناخته می‌شوند (Galante

امکان حل مسائلی آلودگی پسماندهای پلاستیکی را بیش از پیش تقویت کرده است. در ادامه به معرفی گونه‌های مهم تجزیه‌کننده پلاستیک می‌پردازیم: (Marcos-Garcia, 2004 &). هرچند نقش حشرات در تجزیه بقایای گیاهی و جانوری از دیر باز مورد توجه قرار گرفته است ولی در دهه‌ی اخیر با کشف توانایی برخی از آنها در تجزیه‌ی پلاستیک،

جدول (۱): حشرات مهم تجزیه‌کننده پلاستیک.

منبع	گونه	خانواده	راسته
Riudavets et al., 2007	<i>Lasioderma serricorne</i>	Anobiidae	سخت بالپوشان
Riudavets et al., 2007	<i>Rhyzopertha dominica</i>	Bostrichidae	
Riudavets et al., 2007	<i>Sitophilus oryzae</i>	Curculionidae	
Khan et al., 2021	<i>Cnестus mutilatus</i>	Scolytinae	
Abdulhay, 2020	<i>Tribolium confusum</i>	Tenebrionidae	
	<i>Tribolium castaneum</i>		
	<i>Tenebroides mauritanicus</i>		
	<i>Zophobas morio</i>		
	<i>Tenebrio molitor</i>		
Hassan et al., 2014	<i>Plesiophthorhthalmus davidis</i>		
	<i>Galleria mellonella</i>	Pyralidae	بالولکداران
	<i>Achroia grisella</i>		
<i>Plodia interpunctella</i>			
Khyade et al., 2018	<i>Corcyra cephalonica</i>		
Charles, et al, 2017	<i>Gryllus bimaculatus</i>	Gryllidae	راست بالان

حشرات مهم تجزیه‌کننده پلاستیک

از میان ۳۲ راسته از حشرات، سه راسته‌ی سخت بالپوشان (Coleoptera)، بالولکداران (Lepidoptera) و راست بالان (Orthoptera) به ترتیب بیشترین گونه‌های دارای پتانسیل تغذیه و تجزیه‌ی پلاستیک را دارند.

راسته‌ی بالولکداران

راسته‌ی بالولکداران یا پروانه‌ها دومین راسته بزرگ حشرات از لحاظ تعداد گونه است. هرچند بیشتر گونه‌های آن گیاهخوار هستند ولی تعدادی نیز دارای رژیم غذایی پوسیده خواری می‌باشند و نقش مهمی در بازگشت عناصر به چرخه‌ی طبیعت دارند. بر اساس مطالعات اخیر از میان بیش از ۱۲۰ خانواده‌ی این راسته، خانواده‌ی Pyralidae دارای بیشترین گونه‌های دارای سابقه‌ی تغذیه از پلاستیک هستند. شب پره‌ی هندی و پروانه‌های موم خوار کوچک و بزرگ که مهم‌ترین گونه‌های دارای این ویژگی هستند، همگی جزو آفات انباری هستند و در طی سالیان متمادی با ترکیباتی مشابه انواع پلاستیک‌ها در تماس بوده‌اند. در ادامه به معرفی آنها می‌پردازیم.

شب پره‌ی هندی *Plodia interpunctella* Hub. (Lep.; Pyralidae)

این حشره یکی از رایج‌ترین آفات غلات، خشکبار و فرآورده‌های آن است (شکل ۱). پروانه‌ها شب فعال بوده و طول دوره لاروی در دمای ۱۸-۳۵ درجه سلسیوس ۶-۸ هفته است. شفیرگی در داخل پیله و در مکانی خارج از محل خسارت صورت می‌گیرد. طول دوره یک نسل در دمای ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۷۰ درصد و رژیم غذایی گندم و مخمر به ترتیب ۶۰ و ۳۴ روز است (Arbab, 2013). مشخص شده است که لاروهای این حشره هنگامی که در تماس مستقیم با پلی اتیلن (PE) قرار می‌گیرند، می‌توانند از آن تغذیه نمایند. محققان باکتری‌های *Enterobacter asburiae* نژاد Y1 و *Bacillus spp.* نژاد YP1 را که در روده لاروها وجود دارند را عامل تجزیه‌ی پلی اتیلن گزارش نموده‌اند (Yang et al., 2014).



شکل (۱): حشره کامل، لارو و شفیره شب پره هندی

پروانه موم خوار بزرگ

Galleria mellonella (Lep. Pyralidae)

لاروها به عنوان آفت جدی کندوی زنبور عسل بوده و به طور طبیعی از موم زنبور عسل تغذیه می‌کند. از نظر شیمیایی موم زنبور عسل از ترکیبات لیپیدی شامل آلکان‌ها، آلکن‌ها، استرها و اسیدهای چرب تشکیل شده است که شباهت زیادی به برخی پلاستیک‌ها دارد. اخیراً مشخص شده است که لاروها می‌توانند پلی اتیلن را با کمک قارچ *Aspergillus flavus* موجود در رودی خود تجزیه کرده و به اتیلن گلیکول تبدیل کنند (Zhang et al., 2020). میزان تغذیه‌ی روزانه‌ی لاروها از پلی اتیلن ۳۹۴ میلی‌گرم در روز گزارش شده است (Kundungal et al, 2021). ۶۰ لارو می‌توانند در مدت یک هفته مساحتی معادل یک قوطی کبریت را تغذیه نمایند. این مقدار در مقایسه با شب پره هندی و سوسک زرد آرد از سرعت بیشتری برخوردار است (Zhang et al., 2020). علاوه بر قارچ ذکر شده باکتری‌ها نیز در تجزیه پلاستیک توسط لاروهای موم خوار نقش دارند (شکل ۲).



شکل (۲): لارو پروانه موم خوار

پروانه موم خوار کوچک *Achroia grisella* F. (Lep. Pyralidae)

همانند گونه‌ی قبلی لاروها آفت کندوهای زنبور عسل هستند. میزان تغذیه‌ی روزانه‌ی لاروهای این پروانه از پلی اتیلن با چگالی بالا، ۱/۸۳ میلی‌گرم در روز گزارش شده است و لاروها در مدت ۲۸ روز فقط ۲۵ درصد تلفات داشته‌اند. آنها توانسته‌اند چرخه‌ی زندگی خود را تکمیل کرده و وارد نسل بعدی شوند. تجزیه‌ی فضولات لاروها حضور گروه‌های کربونیل و الکی جدید و همچنین افزایش هیدروکربن‌های اشباع نشده را نشان می‌دهد که نشان دهنده تشکیل واسطه‌های تجزیه شده زیستی است و موید این واقعیت است که لارو توانسته‌اند پلی اتیلن را تجزیه نمایند. (Kundungal et al., 2019).

راسته سخت بالپوشان

سوسک‌ها یا سخت بالپوشان بزرگ‌ترین راسته حشرات هستند. هر چند چندین خانواده دارای گونه‌های مستعد تغذیه از پلاستیک هستند ولی بدون شک خانواده‌ی سوسک‌های تاریک زی یا Tenebrionidae بیشترین گونه‌های پلاستیک خوار را در خود جای داده است. در ادامه به معرفی سه گونه‌ی مهم اشاره می‌کنیم.

سوسک زرد آرد

Tenebrio molitor L. (Col.:Tenebrionidae)

این حشره آفت غلات و فرآورده‌های آن خصوصاً سیوس گندم است (Arbab, 2017). تحقیقات یانگ و همکاران (Yang et al., 2015) اولین پژوهشی است که نشان می‌دهد لاروها با کمک میکروارگانیزم‌های دستگاه گوارش خود می‌توانند نوعی از پلاستیک (یونولیت) را تجزیه نمایند. آنها میزان تغذیه ۱۰۰ لارو سوسک زرد آرد در روز را بین ۳۴ تا ۳۹ میلی‌گرم پلی استرن (یونولیت) گزارش نموده‌اند (شکل ۳). بررسی‌های آنها همچنین نشان می‌دهد که ۴۸ درصد کرین موجود در یونولیت توسط لاروها بصورت کربن دی اکساید دفع شده است و فقط بخش کوچکی از آن جزیی از بدن لاروها قرار گرفته است. تقریباً ۴۹ درصد یونولیت بصورت شکسته شده از طریق فضولات دفع شده است. تغذیه از یونولیت نه تنها آسیبی به لاروها نرزد بلکه موجب افزایش ۰/۰۲ درصدی کربن در زیست توده‌ی آنها نیز شده است (شکل ۴). این فرایند تنها در مدت ۱۶ روز انجام شده است که در مقایسه با فرایند طبیعی تجزیه پلاستیک که به چند قرن زمان نیاز دارد، بسیار کوتاه است.



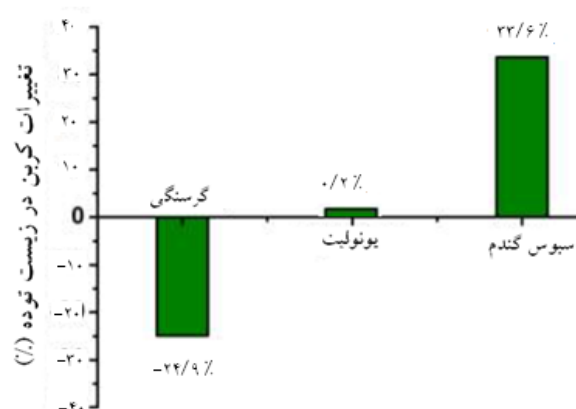
شکل (۳): تغذیه لارو سوسک زرد آرد از یونولیت
(Yang et al., 2015)

که میزان بقای لارو هایی که در مدت ۳۲ روز فقط از پلی استر تغذیه می کنند در مقایسه با لاروهای گرسنه به ترتیب ۸۵ و ۵۴ درصد است. میزان تجزیه ی پلی استر توسط لارو هایی با غذای حاوی ۱۰ درصد وزنی پلی استر و ۹۰ درصد وزنی سبوس تغذیه می شوند نسبت به لارو هایی که فقط با پلی استر تغذیه می شوند؛ در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد تقریباً دو برابر است. وجود بقایای پلی استر در فضولات لاروها بیانگر آن است که به مقدار کم فرآیند شکست پلیمر (دیپولیمریزاسیون) و اکسیداسیون صورت گرفته است. فوم های پلی استری که از تراکم کمتری برخوردار بوده اند؛ سریعتر تجزیه شده اند. نکته ی جالب توجه آن است که حشرات نسل دوم کارایی بیشتری در تجزیه پلی استر داشته اند.

سوسک جو

F.(Col.:Tenebrionidae) *Zophobas morio*

همانند گونه ی پیشین سوسک های جو یا سوپر میلورم در انبارها و سیلوهای نگهداری غلات و فرآورده های آنها خصوصاً آرد و سبوس آفت محسوب می شوند. یکی از مهمترین ویژگی های لاروها، توانایی آنها در تغذیه، تجزیه بیولوژیک و معدنی سازی انواع مختلف پلاستیک ها، مانند پلی استایرن یا پلی اتیلن است (Kim et al. 2020). یانگ و همکاران (Yang et al., 2019) نشان داده اند که لاروها می توانند به طور انحصاری از پلی فوم با سرعت چهار برابر بیشتر از سوسک زرد آرد *T. molitor* تغذیه کنند و می توانند مولکول های پلاستیکی با زنجیره طولانی را بلعیده و آنها را به ترکیبات تخریب شده با وزن مولکولی پایین تبدیل کنند. بررسی ها نشان می دهد که میکروبیوتای روده ی لارو به تخریب پلاستیک کمک می کند، زیرا با سرکوب آنها با درمان آنتی بیوتیکی، توانایی تخریب پلاستیک لارو مهار می شود (Peng et al., 2020، Yang et al. 2019). در تلاش برای غربالگری میکروبیهای تخریب کننده پلاستیک میکروبیوتای روده لارو، چندین سویه باکتریایی جدا شده است. اخیراً منگ و همکاران (Meng et al., 2017) باکتری *Bacillus aryabhattai* را از روده ی لاروها جداسازی کرده اند. براساس بررسی های آنها این باکتری در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بیشترین فعالیت را داشته و از کارایی بیشتری برخوردار است. بررسی های تانگ و همکاران (Tang et al., 2017) نیز نشان می دهد توانایی تجزیه ی پلی استایرن توسط لاروها، مربوط به باکتری های کروی شکل گرم منفی است که در روده ی آنها وجود دارند. این باکتری ها می توانند



شکل (۴): تغییرات کربن در زیست توده ی لاروهای سوسک زرد آرد تغذیه کرده از سبوس گندم و یونولیت و تغذیه نکرده (Yang et al., 2015).

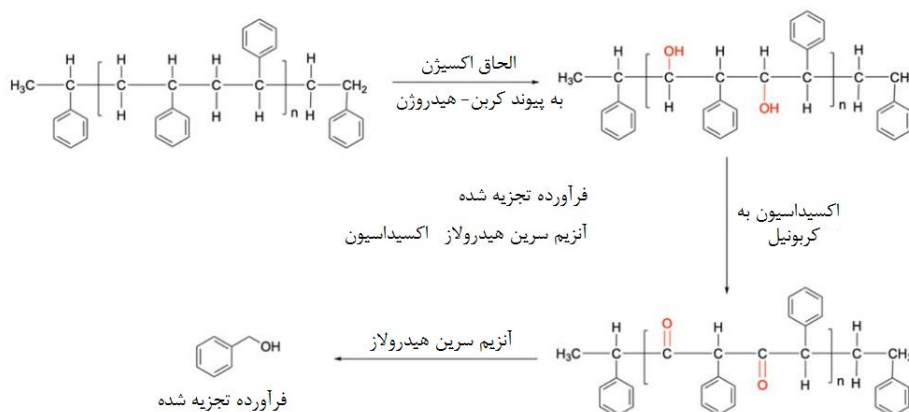
بوزک و همکاران (Božek et al., 2017) نیز کارایی لارو سوسک زرد آرد در تجزیه ی سه نوع پلاستیک (پلی استر، پلی وینیل کلراید (پی وی سی) و پلی لاکتید) را مورد بررسی قرار داده اند. همانگونه که می دانیم پی وی سی پلاستیکی است که از ۵۷ درصد کلرین و ۴۳ درصد کربن تشکیل شده است. این پلیمر سومین پلاستیک تولید شده در جهان است و تجزیه زیستی آن با دشواری صورت می گیرد. این در حالی است که تجزیه زیستی پلی لاکتید به راحتی امکان پذیر است. این پژوهشگران به مدت سه هفته سه گروه از لاروها را فقط با پلاستیک های ذکر شده تغذیه کرده اند. گروه چهارم از لاروها که نقش شاهد را داشته اند با آرد جو و گروه پنجم بدون تغذیه نگهداری شده اند. در پایان دوره ی آزمون با اندازه گیری میزان غذای خورده شده، وزن زیست توده، وزن خشک و تغییرات ایجاد شده در ترکیب شیمیایی لاروها کارایی آنها مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. نتایج به دست آمده نشان داده است که بعد از ۲۱ روز به ترتیب ۳، ۹ و ۱۲ درصد از وزن پی وی سی، پلی استر و پلی لاکتید کاسته شده است که بیانگر تغذیه لاروها از هر سه پلاستیک می باشد. همچنین در مقایسه با لاروهای گرسنه (بدون تغذیه) مقدار پروتئین، کربوهیدرات و چربی در لاروهای تغذیه شده با هر سه نوع پلاستیک افزایش یافته است. البته این افزایش در لاروهای تغذیه شده با پلی لاکتید بیشتر گزارش شده است. نتایج بیانگر آن است که لاروها توانایی تجزیه هر سه نوع پلاستیک را دارا هستند. یانگ و همکاران (Yang et al., 2015) با تمرکز بر تجزیه پلی استر توسط لاروها به نتایج قابل توجهی رسیده اند. آنها مشاهده کردند

کارایی این باکتری را در تجزیه‌ی زیستی چهار نوع پلاستیک مختلف شامل پلی استایرن، پلی فنیل سولفید، پلی اتیلن و پلی پروپیلن مورد بررسی قرار داده اند. نتایج آنها نشان می‌دهد هرچند همه‌ی این پلیمرها توسط این باکتری تجزیه می‌شوند ولی نرخ تخریب زیستی آنها متفاوت است. درحالیکه پلی اتیلن سریع‌ترین تجزیه بیولوژیکی دارد، تخریب زیستی پلی پروپیلن کمترین سرعت را دارا است (جدول ۲). علاوه بر این سرعت رشد باکتری *P. aeruginosa* همیشه متناسب با نرخ تجزیه بیولوژیکی پلیمرها نیست و می‌تواند تحت تأثیر ترکیبات و خواص مولکول‌های میانی تولید شده در طی فرآیند تجزیه پلاستیک نیز باشد.

از کربن موجود در پلی استایرن به عنوان منبع کربن استفاده کنند. کیم و همکاران (Kim et al., 2020) نژادی از باکتری *Pseudomonas aeruginosa* با نام DSM 50071 را از روده لاروها جداسازی نموده و به عنوان عامل تجزیه‌کننده‌ی پلی‌استایرن و پلی فنیل سولفید معرفی نموده اند. این باکتری می‌تواند به طور مستقیم بر روی سطح این مواد رشد کرده و آنها را تجزیه کند. آنها آنزیم سرین هیدرولاز را از باکتریها جداسازی و شناسایی کردند که به نظر می‌رسد مسئول تجزیه بیولوژیکی پلی استایرن است. لی و همکاران (Lee et al., 2020) در ادامه تحقیق پیشین،

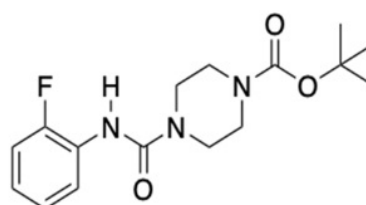
جدول (۲): نرخ روزانه تجزیه انواع پلاستیک توسط لاروهای سوپر میلورم (Lee et al., 2020).

نوع پلاستیک	پلی استایرن (PS)	پلی فنیل سولفید (PPS)	پلی اتیلن (PE)	پلی پروپیلن (PP)
نرخ روزانه تجزیه (%)	۰/۰۹۸	۰/۵۳	۰/۶۴	۰/۰۲۵



شکل (۵): فرآیند تجزیه‌ی پلی استایرن (Kim et al., 2020)

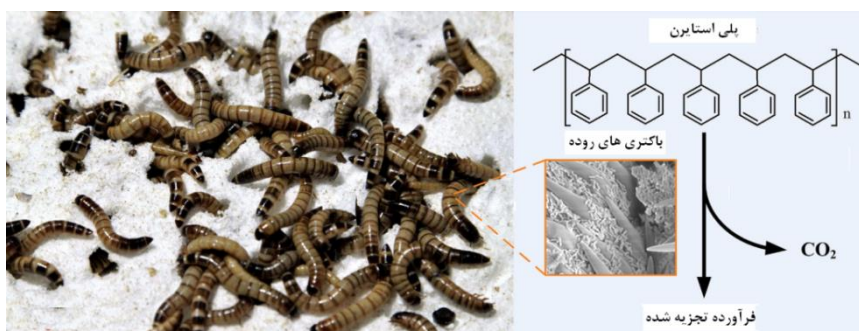
یانگ و همکاران (Yang et al., 2019) نیز نشان داده اند که لاروهای سوپر میلورم توانسته اند در یک دوره‌ی ۲۸ روزه از استری فوم (پلی استایرن) تغذیه کرده و زنده بمانند. میزان تغذیه‌ی روزانه‌ی لاروها ۰/۵۸ میلی گرم گزارش شده است که ۴ برابر بیشتر از مقدار تغذیه شده توسط لاروهای سوسک زرد آرد است. از نظر شیمیایی، پلی استایرن یک هیدروکربن دارای زنجیر بلند است که در آن مراکز متغیر کربنی به گروه‌های فنیل (نامی که به



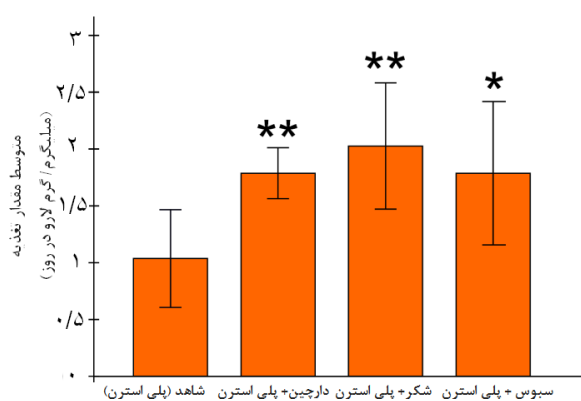
شکل (۶): ساختار سرین هیدرولاز

جنتامایسین به غذای لاروها توانایی آنها در تجزیه پلی استایرن را از بین می‌برد. کوه و همکاران (Koh et al., 2020) در مطالعه‌ی خود اثر اضافه نمودن مقدار کمی سبوس، دارچین و شکر به پلی استایرن را بر میزان تغذیه لاروها از پلی استایرن بررسی کرده‌اند. آنها افزودنی‌های مورد اشاره را با پلی استایرن مخلوط نموده و مقداری آب برای بهبود عملکرد افزودنی‌ها اضافه نموده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که همه‌ی افزودنی‌های مورد بررسی می‌توانند محرکی برای تغذیه‌ی بیشتر لاروها از پلی استایرن باشد. بطوریکه میزان تغذیه تا ۲ برابر افزایش می‌یابد (شکل ۹). از نکات قابل توجه عدم وجود ترکیبات سمی در فضولات لاروهای تغذیه کرده از پلی استایرن است که استفاده از آنها را به عنوان کودهای گیاهی یا بخشی از جیره‌ی غذای آبزیان را ممکن می‌سازد.

بنزن حلقه‌ای داده می‌شود متصل هستند. فرمول شیمیایی پلی استایرن $(C_8H_8)_n$ می‌باشد؛ این ماده حاوی مولفه‌های عناصر شیمیایی کربنی و هیدروژن می‌باشد. تجزیه‌ی فضولات تولید شده توسط لاروهای تغذیه شده با پلی استایرن بوسیله‌ی روش‌های مختلف کروماتوگرافی و طیف سنجی نشان می‌دهد که در روده‌ی لاروها فرآیند تجزیه‌ی زنجیرهای بلند پلیمر و تبدیل آن به مونومر صورت گرفته است و مولکول‌هایی با وزن کم تولید شده است. آزمون تنفس سنجی اثبات کرده است که بیش از ۳۶ درصد کربن موجود پلی استایرن به گاز کربنیک تبدیل شده است. بررسی‌های پنگ و همکاران (Peng et al., 2020) نشان می‌دهد که توانایی نژادهای مختلف در تجزیه پلی استارن متفاوت است. برای مثال نژاد چینی نسبت به نژاد آمریکایی از توانایی بیشتری برخوردار است. همچنین اضافه نمودن ترکیبات آنتی بیوتیک مانند



شکل (۷): فرآیند تجزیه شدن پلی استایرن توسط باکتری‌های روده (Yang et al., 2019)



شکل (۹): متوسط مقدار تغذیه (میلی‌گرم / گرم لارو در روز) لارو سوپر میلورم از پلی استایرن با و بدون افزودنی‌های غذایی (Koh et al., 2020)

ولی امروزه به عنوان یکی از گونه‌های پلاستیک خوار شناخته می‌شود. عبدالهی (Abdulhay, 2020) در یک آزمون ۳۰ روزه، توانایی لاروهای شپشه آرد را در تجزیه زیستی سه نوع مختلف



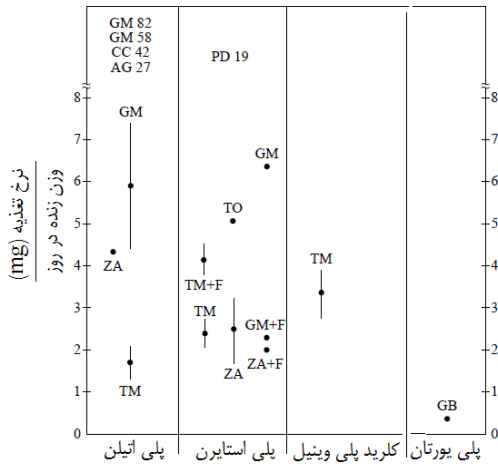
شکل (۸): تغذیه پلی استایرن توسط لاروها (اصلی).

شپشه آرد

Tribolium castaneum (Herbst) (Col.: Tenebrionidae)

این حشره یکی دیگر از اعضای خانواده‌ی سوسک‌های خاکزی است که هرچند به طور طبیعی لاروها و حشرات کامل جزو آفات انباری ثانویه بوده و از آرد و خشکبار تغذیه می‌کنند (ارباب، ۱۳۹۱)

حشرات کامل جیرجیرک به تغذیه از گندم و پلی اورتان در طول زمان از نظر متوسط وزن تفاوت معنی داری ندارد ولی جیرجیرک‌هایی که از پلی اورتان تغذیه کرده اند در مقایسه با جیرجیرک‌های تغذیه کرده از گندم با گذشت زمان از درصد وزن مدفوع و درصد مرگ و میر بیشتری برخوردار هستند.



AG = لارو پروانه موم خوار (*Achroia grisella*) PD = لارو سوسک (*Plesiophthalmus davidis*)
 CC = لارو پروانه برگخوار برنج (*Corcyra cephalonica*) TM = لارو سوسک زرد آرد (*Tenebrio molitor*)
 GB = حشره کامل جیرجیرک (*Gryllus bimaculatus*) TO = لارو سوسک سیاه آرد (*Tenebrio obscurus*)
 GM = لارو پروانه موم خوار (*Galleria mellonella*) ZA = لارو سوپر میلورم (*Zophobas atratus*)

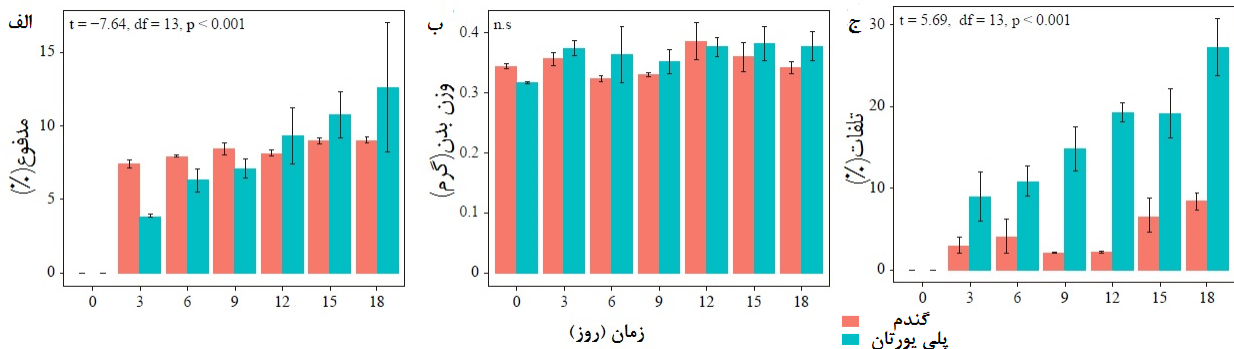
شکل (۱۰): میزان تغذیه حشرات مختلف از انواع پلاستیک (Khan et al., 2021)

پلاستیک (پلی استایرن (PS)، پلی اتیلن فوم (PE) و اتیلن وینیل استات (EVA) مورد بررسی قرار داده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد هرچند لاروها توانایی تغذیه از هر سه نوع پلاستیک را دارند ولی با افزایش زمان، میانگین بقا و وزن لاروهای تغذیه کننده از هر سه پلاستیک ذکر شده در مقایسه با شاهد (آرد گندم) کاهش می‌یابد. بیشترین و کمترین میزان زنده مانده لاروها به ترتیب در لاروهای تغذیه شده با پلی استایرن (۷۰٪) و اتیلن وینیل استات (۳۰٪) مشاهده شده است.

راسته راست بالان

جیرجیرک (*Gryllus bimaculatus* (Orth.: Gryllidae))

این حشره تنها گونه‌ی راسته‌ی راست بالان است که تاکنون گزارش توانایی آن برای تجزیه‌ی پلاستیک در دسترس است. بررسی‌های خان و همکاران (Khan et al., 2021) نشان می‌دهد که حشرات کامل می‌توانند با بهره‌گیری از رابطه‌ی همزیستی با قارچ‌های موجود در دستگاه گوارش خود انواع پسماندهای پلاستیکی از جمله پلی استایرن، پلی اتیلن و پلی اورتان را تجزیه نمایند. بیشترین نرخ تجزیه مربوط به پلی اتیلن و کمترین آن مربوط به پلی اورتان به میزان ۲۸ / ۰ میلی‌گرم در روز است (شکل ۱۰). همانگونه که در شکل (۱۱) نشان داده شده است واکنش



شکل (۱۱): واکنش حشرات کامل جیرجیرک به تغذیه از گندم و پلی اورتان PU در طول زمان (الف) درصد وزن مدفوع (ب) متوسط وزن (ج) درصد مرگ و میر (Khan et al., 2021)

ترکیبات مشابه پلاستیک می‌توانند ابزاری مناسب محسوب شوند. از طرف دیگر بیشتر حشراتی که از توانایی تغذیه و تجزیه پلاستیک برخوردار هستند مانند سوسک زرد آرد و سوسک جو، امروزه از آنها برای تهیه خوراک دام، طیور و آبزیان استفاده می‌شود. این امر می‌تواند جنبه‌ی اقتصادی به کارگیری آنها را توجیه نماید. مطالعات اخیر نشان می‌دهد زیست توده و حتی

نتیجه گیری

تجربیات موفق اشاره شده در این نوشتار نشان می‌دهد حشرات از توانایی قابل توجهی در از بین بردن پسماندهای پلاستیکی برخوردار هستند. آنها فراوانترین موجودات زنده محسوب می‌شوند که با داشتن ویژگی‌های کم نظیر مانند نرخ رشد بالا، همزیستی با میکرو ارگانیسم‌ها و از همه مهمتر دارا بودن سابقه‌ی مواجه با

فضولات حشرات تغذیه شده با پلاستیک فاقد ترکیبات سمی هستند که استفاده از آنها را برای تغذیه دام و گیاهان امکان پذیر می‌کند. بدون شک توسعه روشهای جدید جهت شناسایی هرچه بیشتر عوامل میکروارگانیسم‌های همزیست روده و آنزیم‌های گوارشی حشرات که نقش قابل توجهی در تخریب پلاستیک دارند می‌تواند دورنمای روشنی را در پاکسازی بهینه طبیعت از پسماندهای پلاستیکی به همراه داشته باشد.

فهرست منابع

- Abdulhay, HS. 2020. Biodegradation of plastic wastes by confused flour beetle *Tribolium confusum* Jacquelin du Val larvae. *Asian Journal of Agriculture and Biology*. 8(2):201-206. (In Persian)
- Alang, E. 2021. Increase in plastic debris in coastal and marine environments. *Journal of Environmental Health Research*. 7 (1), 11-16. (In Persian)
- Arbab, A. 2013. *Pestology of stored products and their management*. Islamic Azad University Publications. 189 p. (In Persian)
- Arbab, A. 2017. *Industrial entomology: first volume: yellow flour beetle *Tenebrio molitor* (Col.: Tenebrionidae) introduction, breeding, processing and applications*. Islamic Azad University Publications. 215 p. (In Persian)
- Božek, M.; Hanus-Lorenz, B. & Rybak, J. 2017. The studies on waste biodegradation by *Tenebrio molitor*. *E3S Web of Conferences* 17, 00011. DOI: 10.1051/e3sconf/20171700011.
- Diyana, ZN.; Jumaidin, R.; Selamat, MZ.; Ghazali, I.; Jul mohammad, N.; Huda, N. & Ilyas, R.A. 2021. Physical properties of thermoplastic starch derived from natural resources and its blends: A Review. *Polymers*. 13, 1396.
- Ghosh, SK.; Pal, S. & Ray, S. 2013. Study of microbes having potentiality for biodegradation of plastics. *Environmental Science and Pollution Research*. 20 (7) 4339–4355.
- Gu, JD. 2003. Microbiological deterioration and degradation of synthetic polymeric materials: recent research advances. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 52, 69- 91.
- Kasirajan, S. & Ngouajio, M. 2012. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. 32, 501–529.
- Kesti, SS. & Shivasharana, CT. 2018. The role of insects and microorganisms in plastic biodegradation: A comprehensive review. *International Journal of Sciences*. 5(6), 75-79.
- Khan, S.; Dong, Y.; Nadir, S.; Schaefer, DA. & Mortimer, PE. 2021. Valorizing plastic waste by insect consumption. *Circular Agricultural System*. 1: 7 <https://doi.org/10.48130/CAS-2021-0007>
- Kim, HR.; Lee, HM.; Yu, HC.; 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.
- Kishipour, A.; Mostafa Lu, R.; Arasty & Asadi Qalhari, M. 2020. Microplastics as a new challenge in water resources management: different forms and their removal methods (a review study). *Quarterly journal of research in environmental health*. 6 (1): 34-44. (In Persian)
- 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. *bioRxiv, Ecology*. DOI :10.14324/111. 444/000048.v1.
- Kundungal, H.; Gangarapu, M.; Sarangapani, S.; Patchaiyappan, A. & Devipriya, SP. 2019. Efficient biodegradation of polyethylene (HDPE) waste by the plastic-eating lesser waxworm (*Achroia grisella*). *Environmental Science and Pollution Research*. 26:18509–19.

- Kundungal, H.; Gangarapu, M.; Sarangapani, S.; Patchaiyappan, A. & Devipriya, SP. 2021. Role of pretreatment and evidence for the enhanced biodegradation and mineralization of low density polyethylene films by greater waxworm. *Environmental Technology*.42:717–30.
- Lee, H. M.; Kim, H.R; Jeon, E.; Yu, H. C.; Lee, S.; Li, J. & Kim, D.H. 2020. Evaluation of the biodegradation efficiency of four various types of plastics by *Pseudomonas aeruginosa* isolated from the gut extract of Superworms. *Microorganisms*, 8(9), 1341.
- McCarthy, S. P. 2003. "Plastics and the Environment", John Wiley and Sons, Anthony L. Andrady, New Jersey, pp. 359–377.
- Meng, TK.; Fauzi, N. & Kassim, A. S. M. 2017. The Extraction of Protein from Superworm (*Zophobas morio*) using Saline Treatment (NaCl) Method. *The Journal of Engineering and Applied Science*. 12: 6953-6957.
- Peng, B.Y.; Li, Y.; Fan, R.; Chen, Z.; Chen, J.; Brandon, A.M.; Craig, S.; Zhang, Y.L. & Wu, W.M. 2020. Biodegradation of low-density polyethylene and polystyrene in superworms, larvae of *Zophobas atratus* (Coleoptera: Tenebrionidae): broad and limited extent depolymerization. *Environmental Pollution*. 266 (115206)
- Starneckar, A. & Menner, M. 1996. Assessment of biodegradability of plastics under simulated composting conditions in a laboratory test system", *International Biodeterioration & Biodegradation*, 37, 1–2, pp. 85-92.
- Tang, Z.L.; Kuo, T. A. & Liu, H.H. 2017. The study of the microbes degraded polystyrene. *Polymers for Advanced Technologies*. 2(1), 13 – 17.
- Yang, J.; Yang, Y.; Wu, Wei-Min; Zhao, J. & Jiang, L. 2014. Evidence of Polyethylene Biodegradation by Bacterial Strains from the Guts of Plastic-Eating Waxworms, *Environmental Science & Technology*. 48, 23, 13776–13784.
- Yang, Y.; Wang, J. & Xia, M. 2019. Biodegradation and mineralization of polystyrene by plastic-eating superworms *Zophobas atratus*. *Science of the Total Environment*.135233. doi: 10.1016/j.
- 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.
- Zhang, J.; Gao, D.; Li, Q.; Zhao, Y. & Li, L. 2020. Biodegradation of polyethylene microplastic particles by the fungus *Aspergillus flavus* from the guts of wax moth *Galleria mellonella*. *Science of the Total Environment*. 704:135931.

An Overview of the Use of Insects in Reducing Plastic Waste

*Abbas Arbab

Associate Professor, Department of Entomology, Faculty of Agriculture,
Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran

(Received: 2022/05/18 Accepted: 2021/12/27)

Abstract

Billions of tons of plastic waste reveal the need to pay more attention to this environmental challenge. The inefficiencies and complications of existing methods make the use of new methods inevitable. Insects with a life history of hundreds of millions of years, have established good coexistence with a variety of microorganisms during their evolutionary process and have become able to decompose a variety of hydrocarbon polymers similar to today's plastics. Beetles, moths and crickets are the most important orders of insects that have plastic-eating species. They can feed on common plastics such as polyethylene, polystyrene, polypropylene, polyvinyl chloride and polyurethane and convert them into valuable biomass. Barley beetles, yellow flour beetles, and wax moths can respectively feed on polyethylene by 4.3, 1.7, and 5.9 mg/g of their live weight per day without complementary foods. This amount for rice moth larvae is 42 mg per day. The two-spotted crickets are the only insects capable of degrading polyurethane at a rate of 0.28 mg per day. In this paper, the efficiency of superior species and their usefulness has been discussed.

Keywords: Insects, Environmental pollution, Plastics, Recycling