

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

راهکارهای حمایت از
دشمنان طبیعی آفات جنگل‌ها و مراتع
در شرایط تغییر اقلیم

نگارش:

سمیرا فراهانی و مینا کوهجانی گرجی

۱۴۰۴

ISBN : 978-964-473-629-2



9 789644 736292

عنوان طرح منتج به نشریه فنی	شماره مصوب
بررسی تنوع گونه‌ای زنبورهای پارازیتوئید خانواده Braconidae (Hymenoptera: Ichneumonoidea) در جنگل‌های شمال ایران	۹۵۱۰۷-۰۹-۰۹-۲



عنوان نشریه فنی: راهکارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل‌ها و مراتع در شرایط تغییر اقلیم

نگارش:

سمیرا فراهانی - استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

مینا کوهجانی گرجی - استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

مدیر داخلی: فاطمه عباسپور

ویراستار ادبی: اصغر احمدی

صفحه‌آرا: مریم نوبخت

تهیه‌شده در: مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، اداره ترویج و انتقال یافته‌های تحقیقاتی، بخش تحقیقات حفاظت و حمایت

نشانی: بزرگراه تهران-کرج، خروجی پیکانشهر، شهرک سرو آزاد، خیابان شهید گودرزی، بلوار باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.

سندوق پستی: ۱۳۱۸۵-۱۱۶. **تلفن:** ۵-۴۴۷۸۷۲۸۲-۰۲۱. **وبسایت:** www.rifr-ac.ir

شمارگان: الکترونیکی

سال انتشار: ۱۴۰۴

این نشریه به شماره ۶۸۰۹۰ در تاریخ ۱۴۰۴/۰۷/۱۲ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی

کشاورزی ثبت شده است.

➤ مخاطبان نشریه:

- اعضای هیئت علمی، محققان و دانشجویان (حوزه محیط زیست، کشاورزی و منابع طبیعی، تغییر اقلیم)
- کشاورزان، بهره برداران و فعالان محیط زیست
- شرکت های تولیدکننده عوامل بیولوژیک
- عموم مردم (علاقه مندان به محیط زیست)

➤ شما با مطالعه این نشریه با موارد زیر آشنا می شوید:

- تأثیرات تغییرات اقلیمی بر تعاملات میزبان - دشمنان طبیعی
- راهکارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات

فهرست

۱	مقدمه
۲	تغییر اقلیم
۴	تأثیرات تغییر اقلیم بر دشمنان طبیعی آفات
۴	تغییر در پراکنش جغرافیایی گونه‌ها
۵	تغییر در چرخه زندگی و عدم تطابق زمانی بین آفات و دشمنان طبیعی آنها
۶	تغییر در دسترسی به منابع غذایی برای دشمنان طبیعی
۷	کاهش تنوع زیستی دشمنان طبیعی
۱۰	افزایش استرس ناشی از تغییرات اقلیمی روی دشمنان طبیعی
۱۲	تغییر در تعاملات بین گونه‌ها
۱۳	تأثیر تغییر اقلیم بر همزیست‌های درونی دشمنان طبیعی
۱۶	راهکارهای حمایت از دشمنان طبیعی
۱۷	پایش و تحقیقات
۱۸	حفاظت از زیستگاه‌ها
۱۹	مدیریت آتش‌سوزی‌ها
۱۹	حفظ تنوع زیستی دشمنان طبیعی
۲۱	کاهش استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی
۲۲	آموزش و آگاهی‌بخشی
۲۳	هدف، رهیافت و نتیجه‌گیری کلی
۲۶	منابع

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو، دمای زمین را به‌طور محسوسی بالا برده است. این روند می‌تواند منجر به تغییرات شدید آب‌وهوایی، از جمله گرمای بیشتر، دوره‌های خشکسالی پایدار و بارش‌های سیل‌آسا شود (Furlong and Zalucki, 2017). دشمنان طبیعی نقش حیاتی در کنترل آفات و حفظ تعادل اکوسیستم‌ها دارند و از آنجایی که عموماً نسبت به میزبان‌های خود حساسیت بیشتری به افزایش دما نشان می‌دهند و دمای بهینه برای آنها معمولاً پایین‌تر از میزبان‌هایشان است، تغییرات اقلیمی می‌تواند تأثیرات عمیقی بر سیستم‌های اکولوژیکی، از جمله روابط بین گیاهان، آفات و دشمنان طبیعی آنها داشته باشد (Hance *et al.*, 2007; Furlong and Zalucki, 2017). این تغییرات می‌توانند فنولوژی گیاهان، توزیع آفات و تعادل اکوسیستمی را به شکل قابل توجهی تحت تأثیر قرار دهند و منجر به افزایش خسارت‌های ناشی از آفات شوند (Thomson *et al.*, 2010; Eigenbrode and Adhikari, 2023).

تغییرات اقلیمی از طریق سازوکارهای مختلف بر عملکرد دشمنان طبیعی آفات تأثیر منفی می‌گذارد. با وجود اهمیت اکولوژیک و عملکردی آنها، مطالعات نسبتاً کمی به تأثیرات تغییرات اقلیمی بر تعاملات میزبان-دشمنان طبیعی اختصاص دارد (Jeffs and Lewis, 2013). این تأثیرات معمولاً شامل تغییر الگوی پراکنش جغرافیایی، عدم تطابق زمانی در چرخه زندگی میزبان-دشمنان طبیعی، کاهش دسترسی به منابع غذایی، افزایش تنش‌های محیطی، کاهش تنوع زیستی، اختلال در روابط اکولوژیک بین گونه‌ای و ... می‌شود. این عوامل در نهایت منجر به کاهش کارایی دشمنان طبیعی و افزایش احتمال طغیان جمعیت آفات می‌گردد. درک دقیق این سازوکارها می‌تواند برای توسعه راهکارهای سازگاری و کاهش پیامدهای منفی تغییرات اقلیمی بر کنترل طبیعی آفات کمک شایانی نماید.

تغییر اقلیم

تغییر اقلیم به تغییرات بلندمدت و پایدار در الگوهای آب‌وهوایی و دمای کره زمین اشاره دارد. این پدیده بیشتر با گرمایش جهانی همراه بوده و منجر به تغییر در الگوی بارش‌ها، ذوب یخچال‌ها، افزایش سطح دریاها، اسیدی شدن اقیانوس‌ها، افزایش تعداد روزهای عاری از یخبندان و افزایش فراوانی برخی رویدادهای آب‌وهوایی (مانند خشکسالی‌ها، سیل‌ها و طوفان‌های شدید) می‌شود. تغییر اقلیم به‌عنوان مهمترین تهدید برای توسعه پایدار در حوزه‌های مختلف از جمله منابع طبیعی و محیط‌زیست می‌باشد (رفیعی، ۱۳۹۸).

هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC) با ارائه ارزیابی‌های علمی جامع و مبتنی بر اجماع جهانی، نقش کلیدی در کاهش تأثیرات تغییر اقلیم ایفا می‌کند. این نهاد با مشارکت متخصصان و کارشناسان، گزارش‌های دوره‌ای منتشر می‌کند که شامل آخرین یافته‌ها درباره علل، پیامدها و راهکارهای مقابله با تغییر اقلیم است. آکادمی ملی علوم آمریکا فعالیت‌های انسانی به‌ویژه انتشار گازهای گلخانه‌ای (مانند دی‌اکسید کربن و متان) از طریق سوزاندن سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و کشاورزی صنعتی را عامل اصلی تغییر اقلیم معرفی می‌کند (مقبلی‌دامنه و ثنائی‌نژاد، ۱۴۰۱).

تغییر اقلیم یکی از مهمترین چالش‌های جهانی است که کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل (UNFCCC) با برگزاری کنفرانس‌های سالانه به مقابله با آن می‌پردازد. توافق پاریس (COP21) نقطه عطفی در این زمینه بود که هدف محدودکردن گرمایش جهانی به زیر ۲ درجه سانتی‌گراد را تعیین کرد (توافق‌نامه پاریس، ۲۰۱۵).

راه کارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل ها و مراتع / ۳ در شرایط تغییر اقلیم

ایران به عنوان یکی از اعضای UNFCCC و از جمله کشورهای متعهد به توافق پاریس، نقش پیچیده‌ای در مبارزه با تغییر اقلیم دارد. توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود بهره‌وری انرژی از جمله راهکارهای پیش‌بینی شده ایران است (توافق‌نامه پاریس، ۲۰۱۵؛ مقبلی‌دامنه و ثنائی‌نژاد، ۱۴۰۱).

در حال حاضر دمای کره زمین نزدیک به یک درجه سانتی‌گراد افزایش یافته و اگر روند کنونی ادامه پیدا کند این افزایش تا پایان این قرن میلادی به ۶ درجه خواهد رسید (مقبلی‌دامنه و ثنائی‌نژاد، ۱۴۰۱). تغییر در الگوهای بارش، افزایش خشکسالی‌ها، شدیدتر شدن طوفان‌های اقیانوسی، افزایش سطح دریاها و ذوب شدن یخ‌های قطبی از دیگر مخاطرات تغییر اقلیم می‌باشند. پیش‌بینی شده است سطح آب دریاها تا سال ۲۱۰۰ در اثر ذوب شدن یخ‌های سرزمین‌های یخی بین ۳۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر افزایش یابد (مقبلی‌دامنه و ثنائی‌نژاد، ۱۴۰۱). تغییر اقلیم، ایران را با مخاطرات جدی مواجه کرده است. کاهش بارندگی‌ها نسبت به میانگین بلندمدت، خشک‌شدن تالاب‌های مهم و افزایش طوفان‌های گردوغبار از جمله تهدیدات پیش‌رو هستند.

تغییر اقلیم اثرهای زیادی روی جمعیت دشمنان طبیعی آفات دارد و باعث تلفات مستقیم یا تضعیف این عوامل می‌شود و می‌تواند تعادل جمعیت دشمنان طبیعی و میزبان‌های آنها را برهم زند. در نتیجه، کارایی دشمنان طبیعی در کنترل آفات کاهش یافته و خسارت‌های اقتصادی و زیست‌محیطی افزایش می‌یابد (Thomson et al., 2010؛ Jeffs and Lewis, 2013). از این‌رو، در ادامه، جنبه‌های مختلف تغییرات اقلیم روی دشمنان طبیعی به‌طور مفصل بیان می‌شود.

تأثیرات تغییر اقلیم بر دشمنان طبیعی آفات

تغییر در پراکنش جغرافیایی گونه‌ها

تغییر در پراکنش جغرافیایی گونه‌ها، به معنای جابجایی یا تغییر محدوده جغرافیایی است که یک گونه در آن زندگی می‌کند. این پدیده می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی مانند تغییرات اقلیمی، تغییرات زیستگاه، رقابت بین گونه‌ها، یا فعالیت‌های انسانی باشد. در مورد تغییرات اقلیمی، افزایش دما، تغییر در الگوهای بارش و وقوع رویدادهای شدید آب‌وهوایی می‌توانند باعث شوند که گونه‌ها به مناطق جدیدی مهاجرت کنند یا محدوده جغرافیایی خود را تغییر دهند (Scheffers *et al.*, 2016). به‌عنوان مثال، خشکسالی‌های طولانی‌مدت می‌توانند برخی گونه‌ها را به مناطق مرطوب‌تر سوق دهند یا برخی از گونه‌ها در پاسخ به افزایش دما به ارتفاعات بالاتر مهاجرت می‌کنند (Hufnagel and Garamvölgyi, 2014؛ Scheffers *et al.*, 2016؛ Zhao *et al.*, 2022). درحقیقت دشمنان طبیعی برای موفقیت در کنترل با دو چالش اصلی مواجه هستند؛ یکی توانایی دشمنان طبیعی موجود در همراهی با آفات به مناطق جدید و دیگری، وجود دشمنان طبیعی در مناطق جدید. اگر دشمنان طبیعی نتوانند این تطابق را انجام دهند، تعادل اکولوژیک بهم می‌خورد و آفات طغیان خواهند کرد. معمولاً جابه‌جایی دشمنان طبیعی با سرعت کمتری نسبت به آفات رخ می‌دهد (Cornell and Hawkins, 1993؛ Thomson *et al.*, 2010)، به‌ویژه در کنه‌های شکارگر (Collier and Van Steenwyk, 2004) و پارازیتوئیدها (Anton *et al.*, 2007)، در بین پارازیتوئیدها، پارازیتوئیدهای تخصصی که فقط یک میزبان خاص دارند ممکن است نتوانند به سرعت میزبان خود را دنبال کنند و میزبان‌ها در مناطق جدید با فشار کمتری از سوی پارازیتوئیدها مواجه می‌شوند (Jeffs and Lewis, 2013).

راه کارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل ها و مراتع / ۵ در شرایط تغییر اقلیم

به عبارت بهتر، برخی دشمنان طبیعی ممکن است به دلیل محدودیت های ژنتیکی یا اکولوژیکی نتوانند به سرعت آفات به مناطق جدید مهاجرت کنند. این موضوع باعث می شود در مناطق جدید، دشمنان طبیعی کافی برای کنترل آفات وجود نداشته باشند تا جمعیت آفات را کنترل کنند (Thomson *et al.*, 2010)، در نتیجه طغیان آفات اتفاق خواهد افتاد.

به عنوان مثال، شیوع گسترده شب پره شمشاد به عنوان یک آفت نوظهور در جنگل های شمال ایران، حکایت از آن دارد که در زمان اوج جمعیت، هیچ عامل کنترل طبیعی کارآمدی برای مهار آن وجود نداشته است و عوامل شناسایی شده بسیار عمومی و نادر بودند، در حالی که در خاستگاه اصلی آفت، بیش از ۱۰ گونه عامل بیولوژیک معرفی شده است (فراهانی و همکاران، ۱۴۰۱). در اینجا به خوبی مشخص است، یکی از دلایلی که باعث می شود گونه های مهاجم اغلب در مناطق جدید موفق شوند چیست؟! در واقع، سیستم های دفاعی طبیعی (به ویژه پارازیتوئیدها) قادر به سازگاری سریع با آنها نیستند (Jeffs and Lewis, 2013).

تغییر در چرخه زندگی و عدم تطابق زمانی بین آفات و دشمنان طبیعی آنها

تغییر در چرخه های زندگی و عدم تطابق زمانی بین آفات و دشمنان طبیعی آنها، یکی از پیامدهای مهم تغییرات اقلیمی است که می تواند تعادل اکولوژیکی را برهم زده و منجر به افزایش خسارت های ناشی از آفات شود (Hance *et al.*, 2007؛ Jeffs and Lewis, 2013). این پدیده زمانی رخ می دهد که تغییرات اقلیمی باعث می شود چرخه های زندگی آفات و دشمنان طبیعی آنها به طور متفاوتی تغییر کند، به طوری که زمان بندی فعالیت های حیاتی آنها (مانند ظهور، تغذیه، تولیدمثل) هماهنگ نباشد (Hance *et al.*, 2007).

۶ / راهکارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل‌ها و مراتع در شرایط تغییر اقلیم

به‌عنوان مثال، افزایش دما، باعث می‌شود برخی گونه‌های آفات زودتر از موعد در بهار فعالیت خود را آغاز کند، در حالی که دشمنان طبیعی آنها هنوز فعال نشده‌اند. عدم تطابق زمانی بین آفات و دشمنان طبیعی آنها، زمانی رخ می‌دهد که این دو موجود از نشانه‌های متفاوتی برای آغاز رشد یا ظهور خود استفاده کنند. به‌عنوان مثال، ممکن است یک گونه از نشانه‌های آب‌وهوایی مانند دما استفاده کند، در حالی که گونه دیگر به نشانه‌های غیرآب‌وهوایی مانند طول روز واکنش نشان دهد (Walther, 2010). تصور کنید یک پروانه (میزبان) با گرم شدن هوا از تخم خارج می‌شود، اما زنبور پارازیتوئیدی که به آن حمله می‌کند، همچنان منتظر رسیدن طول روز مشخصی می‌ماند. در نتیجه، زمانی که زنبور آماده پارازیتسم می‌شود، ممکن است پروانه‌ها در مرحله آسیب‌پذیری نباشند. این عدم تقارن زمانی می‌تواند به کاهش جمعیت زنبورها و افزایش جمعیت پروانه‌ها منجر شود.

تغییر در دسترسی به منابع غذایی برای دشمنان طبیعی

برخی دشمنان طبیعی آفات (مانند شکارگرها و پارازیتوئیدها) برای بقا، تولیدمثل و کارایی موفق در کنترل به منابع غذایی خاصی (شهد و گرده گل‌ها) وابسته هستند (Wäckers *et al.*, 2005). اگر این منابع به‌دلیل تغییرات اقلیمی زودتر یا دیرتر از موعد در دسترس باشند، دشمنان طبیعی ممکن است نتوانند به اندازه کافی از آفات تغذیه کنند. به‌عبارت دیگر، تغییرات اقلیمی با تأثیر روی فنولوژی گیاهان (عدم تطابق زمانی گیاه میزبان-دشمنان طبیعی) باعث کاهش کارایی دشمنان طبیعی خواهند شد (Thackeray *et al.*, 2016).

به‌عنوان مثال، اگر گل‌هایی که شهد مورد نیاز حشرات مفید را تأمین می‌کنند زودتر از موعد شکوفا شوند، این حشرات ممکن است در زمان اوج جمعیت آفات، منابع غذایی کافی

راه کارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل ها و مراتع / ۷ در شرایط تغییر اقلیم

نداشته باشند و جمعیت آنها به شدت کاهش پیدا کند. از سویی، ممکن است در منطقه ای، تغییرات اقلیمی باعث جایگزینی گیاهان مهاجم با گیاهان بومی شود و شهد یا گرده کم کیفیت تری (با پروتئین کمتر و کربوهیدرات بیشتر) در دسترس حشرات مفید قرار گیرد که می تواند عملکرد آنها را تضعیف کند (Schweiger et al., 2010; Hellmann et al., 2008). باید توجه داشت که طوفان ها، خشکسالی ها، یا سیل ها می توانند به طور مستقیم منابع غذایی (مانند گل ها، میوه ها، یا جمعیت آفات) را نابود کنند و دشمنان طبیعی ضعیف یا گرسنه نمی توانند به اندازه کافی آفات را شکار یا پارازیت کنند و ممکن است دشمنان طبیعی (به ویژه شکارگرها) وادار به تغذیه از گونه های غیرهدف شوند. مطالعات نشان داده است تحت تأثیر تغییرات اقلیم، ممکن است روابط کاملاً جدیدی شکل بگیرد که ثبات اکوسیستم را تحت تأثیر قرار دهد (Dell et al., 2014).

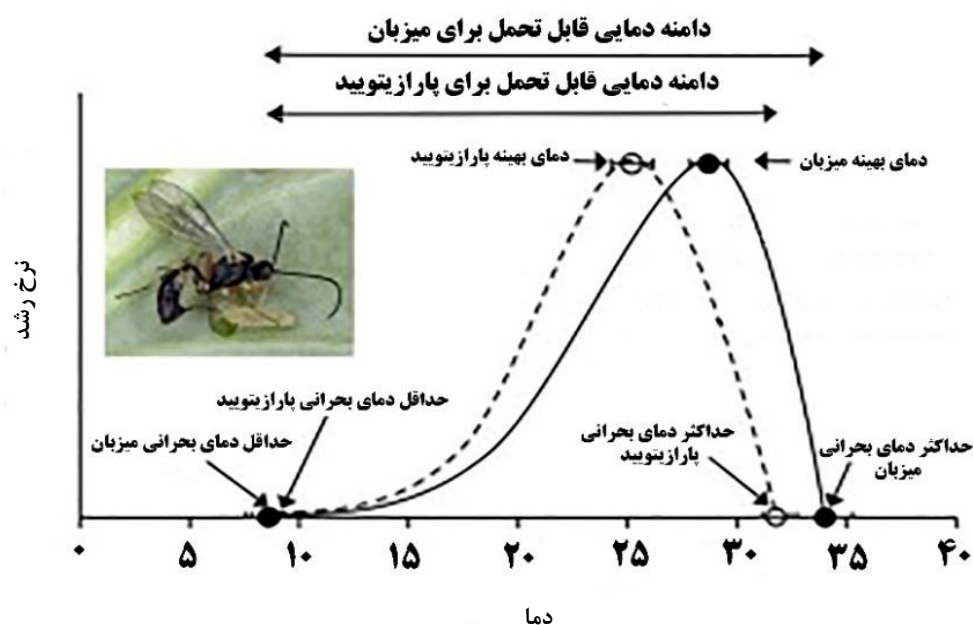
کاهش تنوع زیستی دشمنان طبیعی

اثر دیگر تغییرات اقلیمی، کاهش تنوع زیستی در اکوسیستم ها است. برخی گونه های دشمنان طبیعی به تغییرات محیطی حساس هستند و کاهش جمعیت و یا حذف آنها از محیط (در صورتی که میزبان آنها هنوز در محیط وجود دارد) می تواند تعادل اکولوژیکی را برهم زده و کنترل طبیعی آفات را تضعیف کند (Furlong and Zalucki, 2017). مطالعات نشان می دهد دمای بهینه رشد پارازیتوئیدها معمولاً ۵ تا ۱۰ درجه پایین تر از میزبان هایشان است.

به عنوان مثال، زنبور پارازیتوئید *Diadegma semiclausum* در دمای ۲۵ درجه بیشترین کارایی را دارد، در حالی که میزبانش پروانه *Plutella xylostella*، در دمای ۳۰ درجه رشد بهینه دارد (Furlong and Zalucki, 2017) و این اختلاف دمایی در شرایط گرمایش جهانی می تواند

۸ / راهکارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل‌ها و مراتع در شرایط تغییر اقلیم

کارایی کنترل بیولوژیک را کاهش دهد، چون میزبان‌ها سریع‌تر رشد می‌کنند، در حالی که پارازیتوئیدها تحت استرس حرارتی قرار می‌گیرند (شکل ۱). نتیجه این عدم تعادل، احتمال طغیان آفات را رقم می‌زند (Shirai, 2000؛ Furlong and Butler and Trumble, 2010؛ Zalucki, 2017). البته باید به این نکته توجه داشت که این الگو در تمامی گونه‌ها و سیستم‌های میزبان-پارازیتوئید صدق نمی‌کند و بر اهمیت رویکردهای اختصاصی برای هر سیستم میزبان-پارازیتوئید تأکید می‌شود (Malinski *et al.*, 2024). شواهدی وجود دارد که برخی پارازیتوئیدها برخلاف بسیاری از حشرات، در طول رشد لاروی خود مقاومت گرمایی نشان نمی‌دهند، در حالی که میزبان‌هایشان این توانایی را دارند (Forlano *et al.*, 2023).



شکل ۱- منحنی عملکرد حرارتی نشان‌دهنده رابطه بین دما و میزان رشد پارازیتوئیدها و میزبان‌های آن‌ها (اقتباس از Furlong and Zalucki, 2017).

راه کارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل ها و مراتع / ۹

در شرایط تغییر اقلیم

از سویی، نقش تغییرات اقلیمی در افزایش آتش سوزی های جنگلی غیرقابل انکار است (Flannigan *et al.*, 2006). آتش سوزی های جنگلی تأثیرات مخربی بر جمعیت حشرات مفید دارند که نقش کلیدی در کنترل آفات، گرده افشانی و حفظ سلامت اکوسیستم ها ایفا می کنند. این تأثیرات می تواند به طور مستقیم (از طریق مرگ و میر) یا غیرمستقیم (از طریق تخریب زیستگاه و کاهش منابع غذایی) رخ دهد. آتش سوزی های شدید می توانند به طور مستقیم حشرات مفید را از بین ببرند، به ویژه گونه هایی که توانایی فرار سریع از آتش را ندارند (مانند لاروها، شفیره ها، یا حشرات بی بال یا با قدرت پرواز کم). به عبارت دیگر، زنبورهای پارازیتوئید که در داخل میزبان های خود (مانند لارو آفات) زندگی می کنند، ممکن است در اثر آتش سوزی نابود شوند. مطالعات نشان داده است پس از آتش سوزی در جنگل پارازیتوئیدهای اختصاصی (نسبت به پارازیتوئیدهای عمومی) به دلیل نابودی پوشش گیاهی و کاهش میزبان هایشان با کاهش محسوس جمعیت مواجه می شوند و تا بازسازی زیستگاه با چالش مواجه هستند. حفظ مناطق دست نخورده به عنوان پناهگاه می تواند به بازگشت سریع تر این جوامع پس از آتش سوزی کمک کند (Thompson *et al.*, 2022).

آتش سوزی می تواند پناهگاه ها، لانه ها و منابع غذایی حشرات مفید را نابود کند. برای مثال، گیاهانی که شهد و گرده مورد نیاز زنبورها را تأمین می کنند، ممکن است در آتش بسوزند. همچنین تغییرات ناشی از آتش در ساختار پوشش گیاهی، دسترسی به منابع و رفتار دشمنان طبیعی تأثیر می گذارد. گاهی طعمه (آفت) برای کاهش خطر شکارگری در محیط پس از آتش، ممکن است الگوی استفاده از زیستگاه را تغییر دهد، رفتار پناه گیری را افزایش دهد و رفتار حرکتی خود را تعدیل کند، یا از استتار استفاده نماید (Doherty *et al.*, 2022). پاسخ شکارگرها به آتش به ویژگی های آتش (مانند فصل و شدت)، رفتار شکارگری (کمین کننده یا

تعقیب‌کننده)، رفتار حرکتی، قلمروطلبی و پویایی‌های درون‌گروهی بستگی دارد. در برخی موارد، آتش تأثیر شکارگرها بر جمعیت‌های شکار را تشدید می‌کند و شکارگری شدید و مداوم پس از آتش‌سوزی می‌تواند به انقراض محلی جمعیت‌های شکار منجر شود (Doherty *et al.*, 2022). از سوی دیگر، ممکن است برخی شکارگرها که در زیر برگ‌ها یا پوست درختان پناه می‌گیرند، زیستگاه خود را از دست بدهند. باید به این نکته نیز توجه داشت که پس از آتش‌سوزی، ساختار جنگل ممکن است به‌طور کامل تغییر کند. این تغییرات می‌تواند شرایط را برای گونه‌های مهاجم یا آفات فراهم کند، در حالی که حشرات مفید ممکن است نتوانند با شرایط جدید سازگار شوند. به‌عنوان مثال، ممکن است افزایش نور مستقیم و کاهش رطوبت به‌دلیل از بین رفتن پوشش برگی درختان جنگل برای برخی حشرات مفید نامناسب باشد.

افزایش استرس ناشی از تغییرات اقلیمی روی دشمنان طبیعی

افزایش استرس ناشی از تغییرات اقلیمی بر دشمنان طبیعی آفات، تهدیدی جدی برای سلامت اکوسیستم‌ها و کنترل طبیعی آفات است. این تنش‌ها می‌توانند بر رفتار، رشد، تولیدمثل و بقای جمعیت‌های حشرات تأثیر گذاشته و تعادل روابط شکارگر-طعمه را تغییر داده و عملکردهای اکوسیستم را مختل کنند (Ramniwas *et al.*, 2023). به‌عنوان مثال، خشکسالی می‌تواند منابع غذایی و زیستگاه‌های دشمنان طبیعی را کاهش دهد و در نهایت منجر به کاهش جمعیت و کاهش توانایی آنها در کنترل آفات شود (Jactel *et al.*, 2012). باید توجه داشت که افزایش دما ممکن است رفتار شکارگری یا پارازیت‌کردن را تحت تأثیر قرار دهد. ناهماهنگی در پاسخ به دما بین شکارگرها و طعمه‌ها پدیده‌ای رایج است و تعادل طبیعی بین آنها را تغییر می‌دهد.

راه کارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل‌ها و مراتع / ۱۱

در شرایط تغییر اقلیم

اما نکته کلیدی این است که شکارگرها و طعمه‌های آنها همیشه به یک میزان و به یک شکل به این تغییرات دما پاسخ نمی‌دهند. این ناهماهنگی در پاسخ به دما بین شکارگر و طعمه می‌تواند منجر به سه وضعیت مختلف شود:

- ۱) شکارگرها در دماهای بالا تحریک و سرعتشان زیاد شود و طعمه‌ها بیشتر شکار شوند،
- ۲) طعمه‌ها سرعت حرکاتشان زیاد شده و از دست شکارگر فرار کنند،
- ۳) هر دو به گونه‌ای تغییر کنند که تعاملات کاملاً جدیدی بین آنها ایجاد شود.

این پدیده به‌ویژه با تغییرات آب و هوایی اهمیت بیشتری پیدا می‌کند، زیرا ممکن است گونه‌هایی که قبلاً با هم تعامل نداشتند، ناگهان در یک محیط قرار بگیرند و روابط شکارگر-طعمه کاملاً جدیدی شکل بگیرد (Dell et al., 2014). افزایش میزان مرگ و میر در آنها نیز یکی دیگر از پیامدهای تغییرات اقلیمی می‌باشد. بارش‌های شدید باعث آسیب‌های فیزیکی و غرق‌شدگی دشمنان طبیعی می‌شود و کاهش جمعیت را در پی دارد (Yan et al., 2024). شکارگرهایی مانند کفشدوزک‌ها در برابر استرس‌های ناشی از تغییرات اقلیم سازوکارهای مختلفی مانند تغییرات الگوی رنگ، سازگاری فیزیولوژیکی، تغییر رفتار و انعطاف‌پذیری در دوره‌های خواب زمستانی یا تابستانی را نشان می‌دهند.

برای مثال، برخی گونه‌ها با تغییر الگوی رنگ خود به تنظیم دمای بدن کمک می‌کنند و تا حدی، جمعیت کفشدوزک‌ها می‌توانند در برابر تغییرات آب و هوایی از طریق تغییر در الگوی رنگ محافظت شوند (Sloggett, 2021). در بسیاری از حشرات، رشد و بلوغ اسپرم نیز تحت تأثیر تغییرات اقلیم است.

به‌عنوان مثال، در زنبورهای پارازیتوئید *Microplitis rufiventris* و *Cotesia typhae*، مقدار اسپرم نرها ممکن است تحت استرس گرمایی کاهش یابد و یا ذخیره اسپرم در ماده‌های

جفت‌گیری کرده کاهش یابد که این موارد باعث کاهش کارایی کنترل بیولوژیک می‌گردد (Ion Bressac et al., 2023؛ Scotta et al., 2021). همچنین ثابت شده است، تنش گرمایی در مرحله شفیرگی زنبور پارازیتوئید *Anisopteromalus calandrae* باعث کاهش ذخیره اسپرم نرها و تغییر نسبت جنسی نتاج به سمت نرها می‌شود. دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد منجر به کاهش باروری نرها شده، در حالی که دمای ۴۰ درجه موجب ناباروری کامل و ۴۲ درجه باعث مرگ‌ومیر می‌گردد (Nguyen et al., 2013).

تغییر در تعاملات بین گونه‌ها

تغییرات اقلیمی می‌تواند تعاملات بین آفات و دشمنان طبیعی آنها را تغییر دهد. این تغییرات می‌تواند تعادل اکولوژیکی را برهم زده و منجر به کاهش کارایی دشمنان طبیعی در کنترل آفات شود. به‌عنوان مثال، ممکن است برخی دشمنان طبیعی نتوانند به خوبی با تغییرات در رفتار یا فیزیولوژی آفات سازگار شوند.

به‌عنوان مثال، یکی از تأثیرات تغییرات اقلیم، «تغییر در الگوی تغذیه آفات» است. آفات تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، ممکن است به گیاهان جدیدی حمله کنند که دشمنان طبیعی‌شان با آن گیاهان آشنا نیستند و نتوانند کنترل مناسبی از آفت روی گیاه جدید داشته باشند و سازگاری به مرور زمان اتفاق بیفتد. از تغییرات دیگر، «تغییر در تعداد نسل آفات» می‌باشد (Jeffs and Lewis, 2012؛ Yamamura and Kiritani, 1998؛ DeLucia et al., 2013). به‌طوری‌که ممکن است آفت تحت تأثیر تغییر اقلیم، افزایش تعداد نسل را داشته باشد و در سال چندین نسل تولید کند و این رخداد باعث کاهش کارایی دشمنان طبیعی در کنترل آفت خواهد شد.

تأثیر تغییر اقلیم بر همزیست‌های درونی دشمنان طبیعی

دشمنان طبیعی (شکارگرها، پارازیتوئیدها و پاتوژن‌های حشرات) اغلب میزبان طیف متنوعی از همزیست‌های میکروبی هستند که بر بقا، تولیدمثل و کارایی آنها تأثیر می‌گذارند. تغییرات اقلیمی می‌تواند این روابط همزیستی را تحت تأثیر قرار دهد و پیامدهای گسترده‌ای در کنترل بیولوژیک داشته باشد.

به‌عنوان مثال، *Wolbachia* یک باکتری درون‌سلولی اجباری است و اغلب زنبورهای پارازیتوئید حامل این باکتری هستند که از طریق تخم به نسل بعد منتقل می‌شود. شکل ۲، باکتری *Wolbachia* در تخمدان‌های زنبور پارازیتوئید ماده *Encarsia formosa* را نشان می‌دهد. مطالعات Li و همکاران (۲۰۲۴) ثابت کرد دمای بالا می‌تواند تراکم و توزیع این باکتری را در تخمدان‌های زنبور مذکور تغییر دهد و این تغییرات نیز می‌تواند کارایی تولید مثل پارازیتوئید را مختل کند و توانایی کنترل بیولوژیک آفات را تحت تأثیر قرار دهد.

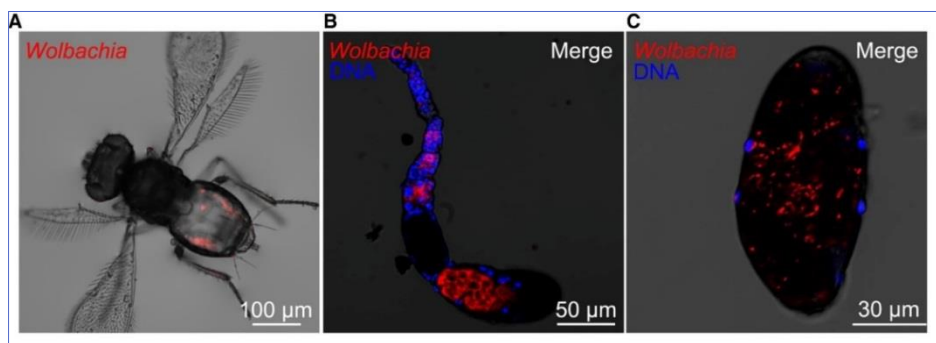
بنابراین، گرمایش جهانی ممکن است با تغییر دینامیک همزیستی *Wolbachia* - پارازیتوئید، ثبات اکوسیستم‌ها را تهدید نماید. پس می‌توان نتیجه‌گیری کرد دما یکی از کلیدی‌ترین فاکتورهای مؤثر بر پایداری این همزیست‌ها محسوب می‌شود؛ به‌طوری‌که دمای بالا ممکن است باعث تضعیف یا حذف همزیست‌ها از بدن دشمنان طبیعی شود و جمعیت دشمنان طبیعی را تحت تأثیر قرار دهد (Jeffs and Lewis, 2013). برخی از گونه‌های زنبور تریکوگراما، دارای نوعی همزیستی با باکتری *Wolbachia* هستند که باعث القاء بکر ماده‌زایی در آنها می‌شود (Stouthamer et al., 1990). به‌عبارت دیگر، این باکتری به زنبورهای پارازیتوئید این امکان را می‌دهد تا بدون جفتگیری از تخم‌های غیربارور نتاج ماده تولید کنند.

در نتیجه، این زنبورهای پارازیتوئید نتاج ماده بیشتری تولید می‌کنند و می‌توانند بالقوه از توان بالاتری برخوردار باشند. بررسی‌ها نشان داده است اگر این زنبورها بیش از یک نسل در معرض دماهای بالا (۳۵ درجه به بالا) قرار گیرند، این باکتری حذف شده و سیستم تولید مثل دوجنسی حشره فعال می‌شود و از تخم‌های غیربارور نتاج نر و از تخم‌های بارور نتاج ماده تولید می‌شود (Pintureau and Bolland, 2001). همچنین دماهای بالا می‌تواند مانع انتقال *Wolbachia* از مادر به فرزندان شود (کاهش انتقال عمودی).

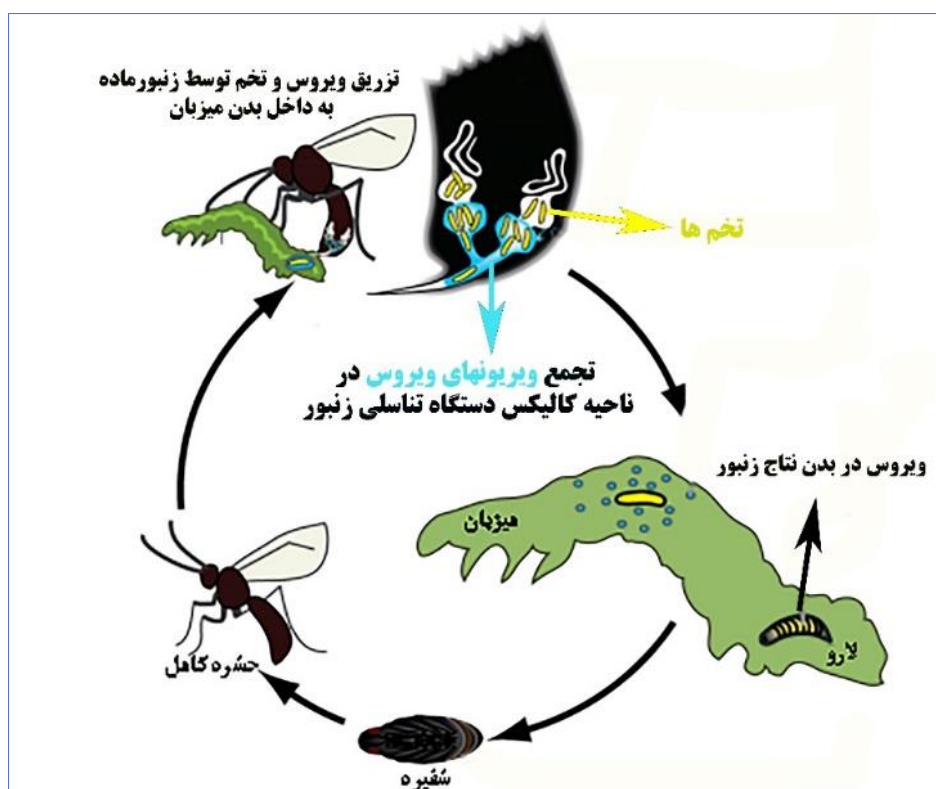
بنابراین در گونه‌های وابسته به *Wolbachia*، تغییر اقلیم و گرمایش، باعث تغییر نسبت جنسیتی به دلیل اختلال در پارتنوژنز می‌شود (افزایش نرها و کاهش ماده‌ها) و این موضوع، کارایی کنترل بیولوژیک را کاهش می‌دهد، زیرا فقط ماده‌ها توانایی پارازیتیسم و کاهش جمعیت آفات را دارند (Jeffs and Lewis, 2013). این تعاملات با ویروس‌های همزیست (*Polydnaviruses*) نیز وجود دارد. شکل ۳، چرخه زندگی زنبور پارازیتوئید و رابطه همزیستی آن با ویروس‌ها را نشان می‌دهد. این ویروس‌ها در تخمدان زنبورهای ماده تولید و همراه با تخم‌گذاری به بدن میزبان تزریق می‌گردند. زنبور بالغ تخم‌های خود را به همراه ویروس‌ها به درون لارو میزبان (بالپولکداران) تزریق می‌کند. ویروس‌ها با سرکوب سیستم ایمنی میزبان و تغییر متابولیسم آن، شرایط را برای رشد لاروهای زنبور فراهم می‌کنند.

به‌عنوان مثال، در تخمدان زنبور پارازیتوئید *Cotesia glomerata* ویروس‌های همزیستی وجود دارند که وظیفه سرکوب سیستم ایمنی میزبان (لاروهای بالپولکداران) را عهده‌دار هستند (Kim, 2007). براساس مطالعات، دماهای بالا می‌توانند تکثیر ویروس‌های همزیست را مهار کرده و کارایی زنبورهای پارازیتوئید را در سرکوب سیستم ایمنی میزبان کاهش دهند، که این موضوع موفقیت پارازیتوئید را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

راه کارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل ها و مراتع / ۱۵
در شرایط تغییر اقلیم



شکل ۲- باکتری *Wolbachia* در بدن زنبور پارازیتوئید ماده
(A) *Encarsia formosa* تخمدان ها در فاز ویتلوژنز اولیه (B) و تخمدان ها در اواخر فاز ویتلوژنز (C)
(رنگ قرمز باکتری *Wolbachia* را نشان می دهد) (اقتباس از Li et al., 2024).



شکل ۳- چرخه زندگی زنبور پارازیتوئید لارو بالپولکداران و ویروس های همزیست
(اقتباس از Burke and Strand, 2012)

مطالعات نشان داده‌اند که باکتری همزیست *Hamiltonella defensa* در بدن برخی شته‌های میزبان زنبورهای *Aphidius*، در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد مصونیت کامل در برابر پارازیتوئیدها ایجاد می‌کند. اما با افزایش دما به ۲۵ و به‌ویژه ۳۰ درجه سانتی‌گراد، این مقاومت به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد که ناشی از کاهش جمعیت یا کاهش فعالیت این باکتری در دماهای بالاتر است (Bensadia et al., 2006). درک این تعاملات برای حفظ کارایی کنترل بیولوژیک در آینده ضروریست.

راهکارهای حمایت از دشمنان طبیعی

دشمنان طبیعی شامل شکارگرها، پارازیتوئیدها و عوامل بیماری‌زای آفات هستند که نقش حیاتی در کنترل جمعیت آفات و حفظ تعادل اکوسیستم‌ها ایفا می‌کنند. حمایت از این موجودات نه‌تنها می‌تواند وابستگی به سموم شیمیایی را کاهش دهد، بلکه به پایداری محیط نیز کمک شایانی می‌کند. با توجه به تأثیرات تغییرات اقلیمی بر دشمنان طبیعی آفات، حمایت از این موجودات برای حفظ اکوسیستم ضروریست. برخی از راهکارهای حمایتی به شرح زیر می‌باشد (شکل ۴).

راه کارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل ها و مراتع / ۱۷
در شرایط تغییر اقلیم



شکل ۴- راه کارهای حمایت از دشمنان طبیعی

پایش و تحقیقات

- ✓ ایجاد شبکه پایش ملی برای ردیابی تغییرات جمعیتی دشمنان طبیعی و انجام پژوهش های پایشی هدفمند و مستمر؛
- ✓ تعیین گونه های بومی و غیربومی دشمنان طبیعی با بیشترین کارایی در کنترل آفات؛
- ✓ مطالعه رفتارشناسی و نیازهای اکولوژیک گونه های کلیدی؛
- ✓ شناسایی گونه های در معرض خطر؛
- ✓ بررسی تأثیر دما، رطوبت و تغییرات اقلیمی بر کارایی دشمنان طبیعی؛

۱۸ / راهکارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل‌ها و مراتع

در شرایط تغییر اقلیم

- ✓ توسعه روش‌های پرورش انبوه و رهاسازی هدفمند؛
- ✓ پایش مداوم جمعیت آفات و دشمنان طبیعی آنها برای درک بهتر تغییرات ناشی از تغییرات اقلیمی؛
- ✓ توسعه روش‌های نوین مانند استفاده از فرومون‌ها برای جلب دشمنان طبیعی؛
- ✓ ایجاد بانک‌های ژن و کلکسیون‌های زنده از گونه‌های مفید؛
- ✓ همکاری بین‌نهادی و جلوگیری از موازی‌کاری با تشکیل کمیته راهبردی متشکل از وزارت جهاد کشاورزی، سازمان محیط‌زیست، دانشگاه‌ها و تشکل‌های مردمی و تدوین شاخص‌های استاندارد ملی برای پایش دشمنان طبیعی؛
- ✓ ایجاد سامانه گزارش‌دهی یکپارچه.

حفاظت از زیستگاه‌ها

- ✓ اقدامات پیشگیرانه از ورود آفات غیر بومی به داخل کشور (قرنطینه خارجی) و ایجاد محدودیت جابه‌جایی درون کشوری خاک، نهال و چوب بدون گواهی بهداشت گیاهی (قرنطینه داخلی) به دلیل چالش عدم وجود دشمنان طبیعی آن در منطقه جدید؛
- ✓ جلوگیری از تخریب زیستگاه‌های طبیعی از طریق فعالیت‌های انسانی؛
- ✓ حفظ و احیای زیستگاه‌های طبیعی دشمنان طبیعی آفات، مانند جنگل‌های بکر و مناطق حفاظت‌شده؛
- ✓ حفظ منابع آبی طبیعی مانند آبگیرها و نه‌رهای کوچک؛
- ✓ مدیریت چرای دام در اکوسیستم‌های حساس؛
- ✓ ارزیابی کیفیت زیستگاه‌ها به صورت دوره‌ای با استفاده از پایش میدانی (ترکیبی از روش‌های کمی و کیفی) و سنجش از راه دور (تحلیل تصاویر ماهواره‌ای).

راه کارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل ها و مراتع / ۱۹
در شرایط تغییر اقلیم

مدیریت آتش سوزی ها

- ✓ راه اندازی و استفاده از سامانه های هوشمند پایش و اعلام حریق در کشور (نصب دوربین های حرارتی در مناطق پرخطر)؛
- ✓ برآورد ریسک آتش در مناطق پرخطر عرصه های طبیعی کشور (پیش آگاهی)؛
- ✓ ایجاد مناطق حائل (آتش بر) برای محدود کردن گسترش آتش؛
- ✓ نصب تابلوهای هشدار حریق برای گردشگران؛
- ✓ محدود کردن فعالیت هایی که خطر آتش سوزی را افزایش می دهند (مانند قطع درختان یا روشن کردن آتش در مناطق حساس)؛
- ✓ آموزش همگانی برای پیشگیری و مدیریت حریق های طبیعی؛
- ✓ تعامل سازنده با مردم و جوامع محلی در راستای مشارکت در مدیریت حریق؛
- ✓ ایجاد گروه های داوطلب محلی برای واکنش سریع به آتش سوزی؛
- ✓ ایجاد ایستگاه های محلی اطفاء حریق در مناطق بحرانی و تجهیز آنها؛
- ✓ استفاده از فناوری های نوین برای مهار آتش به ویژه در مناطق صعب العبور (به عنوان مثال، استفاده از پهپادهای آب پاش).

حفظ تنوع زیستی دشمنان طبیعی

- ✓ اجرای برنامه های مدیریت تلفیقی آفات (IPM)؛
- ✓ ترویج روش های سنتی و دانش بومی برای کنترل آفات بدون نیاز به سم؛
- ✓ حفظ تنوع گیاهی برای تأمین منابع غذایی در تمام فصل ها (مدیریت کشت متنوع در جنگل کاری ها)؛
- ✓ استفاده از سویه های مقاوم به گرما در برنامه های رها سازی؛

۲۰ / راهکارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل‌ها و مراتع

در شرایط تغییر اقلیم

- ✓ مدیریت آب و خاک برای کاهش استرس روی گیاهان و افزایش مقاومت آنها؛
- ✓ حفظ خشک‌دارهای افتاده کف جنگل به‌عنوان زیستگاه منحصر به فرد برخی گونه‌های دشمنان طبیعی؛
- ✓ احیای اکوسیستم‌های تخریب‌شده جنگل‌ها و مراتع (حفاظت فیزیکی از مناطق تخریب شده در دوره‌های ۵ تا ۱۰ ساله، مدیریت عوامل استرس‌زا مانند چرای دام، استفاده از قارچ‌های میکوریزایی، احیاء آبگیرها و تالاب‌ها)؛
- ✓ ایجاد بادشکن‌های طبیعی و کاهش خاک‌ورزی برای مهار گردوغبار؛
- ✓ عدم کشت در زیر اشکوب جنگل؛
- ✓ ایجاد پناهگاه‌های مصنوعی (مانند هتل‌های حشرات) برای حمایت از حشرات مفید (شکل ۵) یا ساخت آشیانه مصنوعی برای پرندگان شکاری (شکل ۶)؛



شکل ۵- نمونه‌ای از هتل حشرات (اقتباس از Rebek, 2015) برای حمایت از دشمنان طبیعی

راه کارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل ها و مراتع / ۲۱
در شرایط تغییر اقلیم



شکل ۶- کنترل جمعیت جوندگان با جذب پرندگان شکاری از طریق نصب جایگاه آشیانه در
تاغزارهای مجاور تالاب گاو خونی (با هدف کنترل بیماری سالک)
(اقتباس از <https://www.iribnews.ir/00CUZ5>)

- ✓ معافیت مالیاتی و یارانه دولتی برای شرکت های تولیدکننده عوامل بیوکنترل؛
- ✓ همکاری های بین المللی برای انتقال فناوری های نوین به کشور (مثل استفاده از نماتدهای انگل آفات).

کاهش استفاده از آفت کش های شیمیایی

- ✓ ایجاد مناطق ممنوعه سمپاشی در زیستگاه های کلیدی دشمنان طبیعی (مانند حاشیه تالاب ها، جنگل ها و مراتع)؛

۲۲ / راهکارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل‌ها و مراتع

در شرایط تغییر اقلیم

- ✓ کاهش تدریجی و حذف استفاده از سموم شیمیایی پرخطر و جایگزینی آنها با روش‌های کنترل بیولوژیکی در مناطق نزدیک به جنگل و مرتع؛
- ✓ استفاده از سموم انتخابی کم‌خطر و دوستدار محیط‌زیست (برای کانون‌کوبی آفات نوظهور)؛
- ✓ تدوین چارچوب‌های قانونی و دستورالعمل‌های به روز شده برای حمایت از عوامل کنترل بیولوژیک: پیشنهاد مالیات بر سموم پرخطر و اختصاص درآمد آن به پژوهش‌های کنترل بیولوژیک؛
- ✓ جریمه برای سمپاشی‌های غیرمجاز در اکوسیستم‌های حساس (مانند حاشیه تالاب‌ها، جنگل‌ها و مراتع).

آموزش و آگاهی‌بخشی

- ✓ توسعه برنامه‌های آموزشی کودکان در مدارس و تربیت نسل آینده برای توجه بیشتر به حشرات مفید در قالب کلاس‌های روز مزرعه (آشنایی کودکان با مفاهیم اولیه تعادل طبیعت و حشرات مفید، آشنایی با پرورش کفشدوزک‌های شکارگر، آشنا شدن با معایب استفاده از سموم شیمیایی و روش‌های جایگزین برای آن)؛
- ✓ برگزاری کارگاه‌های حقوقی برای قضات و مجریان قانون در مورد اهمیت حمایت از دشمنان طبیعی (اعمال جریمه متخلفان متناسب با تخلف انجام شده)؛
- ✓ برگزاری کارگاه‌های آموزشی عملی، بازدیدهای میدانی از مزارع الگو و تولید محتوای ساده و قابل فهم مانند بروشورها و کلیپ‌های آموزشی و نشان دادن تفاوت بین حشرات مضر و مفید؛

راه کارهای حمایت از دشمنان طبیعی آفات جنگل ها و مراتع / ۲۳

در شرایط تغییر اقلیم

- ✓ همکاری با رسانه های جمعی برای تولید برنامه های مستند درباره نقش دشمنان طبیعی در اکوسیستم ها؛
 - ✓ استفاده از کشاورزان پیشرو به عنوان تسهیل گران محلی (با ترویج ارزش اقتصادی دشمنان طبیعی و پذیرش اجتماعی بکارگیری از عوامل بیولوژیک با ارائه نمونه های موفق)؛
 - ✓ آموزش جوامع محلی و ذینفعان در مورد اهمیت دشمنان طبیعی آفات و تأثیرات تغییرات اقلیمی بر آنها؛
 - ✓ افزایش انگیزه با ایجاد مشوق های اقتصادی برای کشاورزانی که از روش های حفاظت از دشمنان طبیعی استفاده می کنند؛
 - ✓ ارزیابی مستمر برنامه های آموزشی و بررسی تأثیر آنها بر تغییر رفتار کشاورزان و جوامع محلی
- این راهکارها نه تنها به کاهش خسارت های آفات کمک می کنند، بلکه تاب آوری اکوسیستم ها را در برابر تغییر اقلیم افزایش می دهند.

هدف، رهیافت و نتیجه گیری کلی

تغییر اقلیم تهدیدی جدی برای دشمنان طبیعی آفات محسوب می شود و می تواند منجر به افزایش مصرف سموم، کاهش تنوع زیستی و تهدید امنیت غذایی شود. یکی از پیامدهای نگران کننده این پدیده، تضعیف دشمنان طبیعی آفات (مانند حشرات شکارگر، پارازیتوئیدها، پرندگان و میکروارگانیسم های مفید) است که نقش کلیدی در کنترل بیولوژیک آفات ایفا

می‌کنند. افزایش دما، تغییر الگوی بارش‌ها و وقوع رویدادهایی مانند خشکسالی یا سیلاب‌ها، می‌تواند تعادل جمعیتی این موجودات را برهم زده و آنها را در معرض انقراض محلی قرار دهد. توجه به راهکارهای حمایتی از دشمنان طبیعی با ایجاد تعادل اکولوژیک، به‌طور چشمگیری سلامت جنگل‌ها و مراتع را بهبود می‌بخشد و منجر به کنترل پایدار آفات، بهبود سلامت اکوسیستم و احیای تنوع زیستی می‌شود و به سازگاری با تغییر اقلیم کمک می‌کند.

البته باید توجه داشت همکاری بین کشاورزان، پژوهشگران و سیاست‌گذاران برای اجرای این راهکارها ضروریست. اجرای موفقیت‌آمیز راهکارهای حمایتی از دشمنان طبیعی مستلزم همکاری سه‌جانبه بین کشاورزان، پژوهشگران و سیاست‌گذاران است. کشاورزان با به‌کارگیری روش‌های سازگار با محیط‌زیست مانند کاهش مصرف سموم و حفظ زیستگاه‌های طبیعی، بستر لازم را فراهم می‌کنند. ارائه دانش فنی و پایش مستمر اکوسیستم، ارزیابی اثربخشی روش‌ها و بهینه‌سازی آنها از وظایف پژوهشگران است و سیاست‌گذاران نیز با تدوین قوانین حمایتی، تخصیص اعتبارات و ایجاد مشوق‌های اقتصادی، زمینه اجرای این راهکارها را فراهم می‌کنند. این همگرایی سه‌جانبه نه‌تنها پایداری بلندمدت جنگل‌ها و مراتع را تضمین می‌کند، بلکه الگویی موفق برای مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی در برابر چالش‌های محیط‌زیستی ارائه می‌دهد. از این‌رو، حفظ دشمنان طبیعی آفات نه‌تنها یک ضرورت بوم‌شناختی، بلکه سرمایه‌گذاری هوشمندانه‌ای برای آینده امنیت غذایی است.

هرچند راهکارهای مطرح‌شده برپایه دانش روز و تجربیات موفق جهانی بیان شده‌اند، اما پیاده‌سازی اثربخش آنها در ایران نیاز به مطالعات تطبیقی، اصلاحات بومی و ارزیابی‌های میدانی در اکوسیستم‌های مختلف کشور دارد. تنوع آب‌وهوایی، پوشش گیاهی و جوامع حشرات در نقاط مختلف کشور، لزوم اجرای پژوهش‌های میدانی و تطبیق این راهکارها با شرایط محلی

را بیش از پیش آشکار می سازد. تغییر اقلیم به عنوان چالشی جدی برای دشمنان طبیعی آفات در ایران، نیازمند پژوهش های کاربردی و بومی است که متأسفانه تاکنون توجه کافی به آن نشده است. در این راستا، پیشنهاد می شود مطالعاتی در زمینه ارزیابی تحمل دمایی گونه های کلیدی شکارگرها و پارازیتوئیدهای بومی در وضعیت های مختلف تغییر اقلیم انجام شود. همچنین بررسی امکان استفاده از هتل های حشرات و پایش کارایی آنها در جذب و حفظ جمعیت دشمنان طبیعی در اقلیم های مختلف کشور ضروری به نظر می رسد. یکی از حوزه های مهم پژوهشی، مطالعه تأثیر تغییر الگوی بارش ها و افزایش دوره های خشکسالی بر کارایی کنترل بیولوژیک آفات است. از سوی دیگر، ایجاد بانک اطلاعاتی جامع از گونه های بومی دشمنان طبیعی و تغییرات فصلی جمعیت آنها در نقاط مختلف کشور به عنوان زیرساختی اساسی برای برنامه ریزی های آینده محسوب می شود. برای اجرای مؤثر این پژوهش ها، پیشنهاد می شود شبکه ملی پایش دشمنان طبیعی با مشارکت دانشگاه ها و مراکز تحقیقاتی مناطق مختلف کشور ایجاد شود. اختصاص بخشی از بودجه تحقیقاتی سازمان های مرتبط به موضوع تغییر اقلیم و کنترل بیولوژیک و تدوین برنامه های آموزشی ویژه برای کارشناسان به منظور مشارکت در جمع آوری داده ها می تواند به پیشبرد این مطالعات کمک کند. با وجود شواهد جهانی درباره تأثیر منفی گردوغبار بر دشمنان طبیعی، متأسفانه تحقیقات در این زمینه در ایران بسیار اندک است و این خلأ پژوهشی لزوم انجام مطالعات میدانی را در مناطق آسیب دیده (مانند استان های غربی و جنوبی) آشکار می سازد. علاوه بر این، توسعه شیوه نامه های بومی برای تکثیر انبوه گونه های مقاوم و انجام ارزیابی های اقتصادی از دیگر اولویت های تحقیقاتی در این زمینه است. امیدواریم این پیشنهادها بتواند مبنای مناسبی برای تحقیقات آینده در این حوزه حیاتی باشد و گامی مؤثر برای حفظ تعادل اکولوژیک و امنیت غذایی کشور بردارد.

منابع

- توافق‌نامه پاریس، ۲۰۱۵. بیست و یکمین کنفرانس سالانه متعهدین کنوانسیون تغییر آب و هوای سازمان ملل، ۳۰ نوامبر تا ۱۱ دسامبر ۲۰۱۵- پاریس، فرانسه.
- رفیعی، ف. ۱۳۹۸. تغییر اقلیم و اثرات آن بر منابع طبیعی و رفاه مردم. همایش ملی توسعه پایدار (با رویکرد فرصت‌ها و چالش‌های سرمایه‌گذاری در منطقه ترشیز)، مرکز آموزش عالی کاشمر، ۲۷ فروردین ۱۳۹۸، ۶ صفحه.
- فراهانی، س.، فراشیانی، م.ا.، کازرانی، ف.، کوهجانی گرجی، م. و خالقی تروجنی، س.ن. ۱۴۰۱. مروری بر زیست‌شناسی شب‌پره شمشاد در جنگل‌های شمال ایران. نشریه طبیعت ایران، ۷ (۶): ۳۹-۴۶.
- مقبلی‌دامنه، م. و ثنائی‌نژاد، س.ح. ۱۴۰۱. بررسی اجمالی تغییر اقلیم با تکیه بر کنفرانس‌های مربوط به کنوانسیون تغییر اقلیم سازمان ملل و نقش ایران در آن. دگرگونی‌ها و مخاطرات آب و هوایی، ۱(۲): ۲۳-۱.
- Anton, C., Zeisset, I., Musche, M., Durka, W., Boomsma, J.J. and Settele, J. 2007. Population structure of a large blue butterfly and its specialist parasitoid in a fragmented landscape. *Molecular Ecology*, 16: 3828-3838.
- Bensadia, F., Boudreault, S., Guay, J.F., Michaud, D. and Cloutier, C. 2006. Aphid clonal resistance to a parasitoid fails under heat stress. *Journal of Insect Physiology*, 52: 146-157.
- Bressac, C., El Sabrout, A., Kifouche, F., Anne, M., Capdevielle-Dulac, C., Mougél, F. and Kaiser, L. 2023. Hot and cold waves decrease sperm production and bias sex ratio in the parasitoid wasp *Cotesia typhae* (Hymenoptera, Braconidae). *Journal of insect physiology*, 149:104553
- Burke, G.R., and Strand, M.R. 2012. Polydnviruses of parasitic wasps: domestication of viruses to act as gene delivery vectors. *Insects*, 3 (1): 91-119. <https://doi.org/10.3390/insects3010091>
- Butler, C.D. and Trumble, J.T. 2010. Predicting population dynamics of the parasitoid *Cotesia marginiventris* (Hymenoptera: Braconidae) resulting from novel interactions of temperature and selenium. *Biocontrol Science and Technology*, 20: 391-406. <https://doi.org/10.1080/09583150903551587>
- Collier, T. and Van Steenwyk, R. 2004. A critical evaluation of augmentative biological control. *Biological Control*, 31: 245-256.
- Cornell, H.V. and Hawkins, B.A. 1993. Accumulation of native parasitoid species on introduced herbivores: a comparison of hosts as natives as hosts as invaders. *American Naturalist* 141: 847-865.

- Dell, A.I., Pawar, S. and Savage, V.M. 2014. Temperature dependence of trophic interactions are driven by asymmetry of species responses and foraging strategy. *Journal of Animal Ecology*, 83: 70–84. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12081>
- DeLucia, E.H., Nabity, P.D. Zavala, J.A. and Berenbaum, M.R. 2012. Climate Change: Resetting Plant-Insect Interactions. *Plant Physiology*, 160 (4): 1677–1685. <https://doi.org/10.1104/pp.112.204750>
- Doherty, T.S., Geary, W.L., Jolly, C.J., Macdonald, K.J., Miritis, V., Watchorn, D.J., Cherry, M.J., Conner, L.M., Gonzalez, T.M., Legge, S.M., Ritchie, E.G., Stawski, C. and Dickman, C.R. 2022. Fire as a driver and mediator of predator-prey interactions. *Biological Reviews*, 97(4): 1539-1558. <https://doi.org/10.1111/brv.12853>
- Eigenbrode, S.D. and Adhikari, S. 2023. Climate change and managing insect pests and beneficials in agricultural systems. *Agronomy Journal*, 115. <https://doi.org/10.1002/agj2.21399>.
- Eigenbrode, S.D., Adhikari, S., Kistner-Thomas, E., and Neven, L. 2022. Introduction to the collection: Climate change, insect pests, and beneficial arthropods in production systems. *Journal of Economic Entomology*, 115: 1315–1319. <https://doi.org/10.1093/jee/toac107>
- Flannigan, M., Amiro, B., Logan, K., Stocks, B. and Wotton, M. 2006. Forest Fires and Climate Change in the 21ST Century. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11: 847-859. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-9020-7>.
- Forlano, P., Caccavo, V., Battaglia, D., Fanti, P., Trotta, V. 2023. Effects of exposures to repeated heat stress on the survival of the pea aphid *Acyrtosiphon pisum* and its endoparasitoid *Aphidius ervi*. *Bulletin of Insectology*, 76 (2):219-227.
- Furlong, M.J. and Zalucki, M.P. 2017. Climate change and biological control: the consequences of increasing temperatures on host-parasitoid interactions, *Current Opinion in Insect Science*, 20: 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2017.03.006>.
- Hance, T., van Baaren, J., Vernon, P. and Boivin, G. 2007. Impact of extreme temperatures on parasitoids in a climate change perspective. *Annual Review of Entomology*, 52:107-26. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.52.110405.091333>.
- Hufnagel, L. and Garamvölgyi, A. 2014. Impacts of climate change on vegetation distribution No. 2: Climate change induced vegetation shifts in the New World. *Applied Ecology and Environmental Research*, 12(2): 355-422.
- Ion Scotta, M., Margris, L., Sellier, N., Warot, S., Gatti, F., Siccardi, F., Gibert, P., Vercken, E. and Ris, N. 2021. Genetic variability, population differentiation, and correlations for thermal tolerance indices in the minute wasp, *Trichogramma cacoeciae*. *Insects*, 12:1013.
- Jactel, H., Petit, J., Desprez-Loustau, M.L., Delzon, S., Piou, D., Battisti, A. and Koricheva, J. 2012. Drought effects on damage by forest insects and pathogens: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 18(1): 267–276. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02512.x>.
- Jeffs, C.T. and Lewis, O.T. 2013. Effects of climate warming on host-parasitoid interactions. *Ecological Entomology*, 38(3): 209-218. <https://doi.org/10.1111/een.12026>

- Kim, Y. 2007. An evidence for host translation inhibitory factor encoded in a Polydnavirus, *Cotesia glomerata* Bracovirus, genome and its expression in parasitized cabbage white butterfly, *Pieris rapae*. Journal of Asia-Pacific Entomology, 10 (4): 351-356. [https://doi.org/10.1016/S1226-8615\(08\)60375-1](https://doi.org/10.1016/S1226-8615(08)60375-1).
- Li, C., Li, C.Q., Chen, Z.B., Liu, B.Q., Sun, X., Wei, K.H., Li, C.Y. and Luan, J.B. 2024. *Wolbachia* symbionts control sex in a parasitoid wasp using a horizontally acquired gene. Current Biology, 34 (11): 2359-2372.e9
- Malinski, K.H., Moore, M.E. and Kingsolver, J.G. 2024. Heat stress and host–parasitoid interactions: lessons and opportunities in a changing climate. Current Opinion in Insect Science, 64: 101225. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2024.101225>.
- Nguyen, T.M., Bressac, C. and Chevrier, C. 2013. Heat stress affects male reproduction in a parasitoid wasp. Journal of Insect Physiology, 59 (3): 248-254.
- Ramniwas, S., Tyagi, P.K., Sharma, A. and Kumar, G. 2023. Abiotic stress and physiological adaptive strategies of insects. Frontiers in Physiology, 14: 1210052. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1210052>.
- Rebek, E.J. 2015. Insect hotels: good bugs check in and they check out. Technical Report, 2 pp.
- Ryalls, J. M.W., Bromfield, L.M., Mullinger, N.J., Langford, B., Mofikoya, A.O., Pfrang, C., Nemitz, E., Blande, J.D. and Girling, R.D. 2025. Diesel exhaust and ozone adversely affect pollinators and parasitoids within flying insect communities. Science of The Total Environment, 958: 177802. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177802>.
- Scheffers, B.R., De Meester, L., Bridge, T.C.L., Hoffmann, A.A., Pandolfi, J.M., Corlett, R.T., Butchart, S.H.M., Pearce-Kelly, P., Kovacs, K.M., Dudgeon, D., Pacifici, M., Rondinini, C., Foden, W.B., Martin, T.G., Mora, C., Bickford, D. and Watson, J.E.M. 2016. The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. Science, 354 (6313): aaf7671. <https://doi.org/10.1126/science.aaf7671>
- Sloggett, J.J. 2021. Aphidophagous ladybirds (Coleoptera: Coccinellidae) and climate change: a review. Insect Conservation and Diversity, 14: 709–722. <https://doi.org/10.1111/icad.12527>
- Shirai, Y. 2000. Temperature tolerance of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) in tropical and temperate regions of Asia. Bulletin of Entomological Research, 90: 357–364. <https://doi.org/10.1017/S0007485300000481>
- Stouthamer, R., Pinto, J.D., Platner, G.R. and Luck, R.F. 1990. Taxonomic status of helytokous forms of *Trichogramma*. Annals of the Entomological Society of America, 83: 475-481. <https://doi.org/10.1093/aesa/83.3.475>
- Thackeray, S.J., Henrys, P.A., Hemming, D., Bell, J.R., Botham, M.S., Burthe, S., Helaouet, P., Johns, D.G., Jones, I.D., Leech, D.I., Mackay, E.B., Massimino, D., Atkinson, S., Bacon, P.J., Brereton, T.M., Carvalho, L., Clutton-Brock, T.H., Duck, C., Edwards, M., Elliott, J.M., Hall, S.J.G., Harrington, R., Pearce-Higgins, J.W., Høye, T.T., Kruuk, L.E.B., Pemberton, J.M., Sparks, T.H., Thompson, P.M., White, I., Winfield, I.J. and Wanless, S. 2016. Phenological sensitivity to climate across taxa and trophic levels. Nature, 535: 241–245.

- Thomson, L.J., Macfadyen, S. and Hoffmann, A.A. 2010. Predicting the effects of climate change on natural enemies of agricultural pests. *Biological Control*, 52: 296–306.
- Thompson, H.M., Lesser, M.R., Myers, L. and Mihuc, T.B. 2022. Insect Community Response Following Wildfire in an Eastern North American Pine Barrens. *Forests*, 13(1): 66. <https://doi.org/10.3390/f13010066>
- Tiedeken, E.J., Egan, P.A., Stevenson, P.C., Wright, G.A., Brown, M.J.F., Power, E.F., Farrell, I., Matthews, S.M. and Stout, J.C. 2015. Nectar chemistry modulates the impact of an invasive plant on native pollinators. *Functional Ecology*, 30: 885–893. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12588>.
- Yamamura, K. and Kiritani K. 1998. A simple method to estimate the potential increase in the number of generations under global warming in temperate zones, *Applied Entomology and Zoology*, 33: 289–298.
- Yan, S., Lyu, B., Lu, H., Tang, J., Zhang, Q., Jiao, B., Zang, L. and He, X. 2024. Effects of rainfall on parasitism and survival of *Telenomus remus*. *CABI Agriculture and Bioscience*, 5: 110. <https://doi.org/10.1186/s43170-024-00318-y>
- Zhao, H., Xian, X., Zhao, Z., Zhang, G., Liu, W. and Wan, F. 2022. Climate change increases the expansion risk of *Helicoverpa zea* in China according to potential geographical distribution estimation. *Insects*, 13: 79.
- Wäckers, F.L., van Rijn, P.C.J. and Bruin, J. (Eds), 2005. *Plant-Provided Food for Carnivorous Insects: A Protective Mutualism and its Applications*. Cambridge University Press, 356 p.
- Walther, G.R. 2010. Community and ecosystem responses to recent climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365: 2019–2024.