

Analysis of challenges and proposing solutions for development of biological control in forest pest management

Samira Farahani^{1*}, Hassan Askari² and Seyedeh Masoomeh Zamani³

1*- Corresponding author, Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, Email: s.farahani@rifr-ac.ir

2- Prof., Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research Education and Extension Organization, Tehran, Iran

3- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 10.12.2025

Revised: 17.02.2026

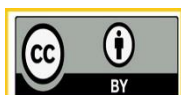
Accepted: 16.03.2026

Abstract

Background and Objective: Iranian forests are complex, dynamic, and multi-layered ecosystems that play a fundamental role in conserving biodiversity, regulating climate and water cycles, stabilizing soils, storing carbon, and supporting the livelihoods of local communities. The persistence of these valuable ecosystems depends on effective management of key threats, particularly forest pests. In this context, biological control is a sustainable, environmentally compatible approach grounded in natural ecological processes and considered a suitable alternative to chemical methods. By leveraging natural enemies of pests—such as predators, parasitoids, entomopathogens, and other biological regulators—biological control aims to keep pest populations below the threshold of economic or ecological damage. Despite multiple benefits, the development and effective implementation of this strategy in Iranian forests face substantial structural, environmental, technical, and managerial challenges. This study aims to analyze the main challenges associated with developing and applying biological control for forest pest management in Iran and to propose solutions to improve the effectiveness and long-term sustainability of this approach within ecosystem-based forest management.

Methodology: This research uses a review-analytical approach, drawing on available scientific literature and field-based experiences, to identify the key barriers to biological control development in forest pest management in Iran and to outline strategies for strengthening its implementation.

Results: At the most fundamental level, the intrinsic complexity of forest ecosystems and the risk of disrupting ecological balance through the introduction of new agents represent a serious concern. This issue is exacerbated by limited baseline information, including incomplete databases of native natural enemies and insufficient studies on the biology and population dynamics of these organisms. In parallel, several human activities—such as deforestation, habitat degradation, excessive grazing, unsustainable harvesting practices, and understory cultivation often accompanied by pesticide use—reduce populations of natural enemies and weaken the self-regulating capacity of the ecosystem. Moreover, large-scale drivers such as climate change, repeated droughts, reduced ground-layer flowering plant cover, and dust storms threaten the stability of natural enemy populations. A key underlying point is that the most effective and



Copyright: © 2024 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (<https://ijfrpr.areeo.ac.ir/>) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

durable line of defense against forest pests is natural biological control within the forest ecosystem; therefore, any management strategy should first prioritize the identification and protection of this self-regulating mechanism. Accordingly, overcoming the forthcoming technical and operational constraints can lead to long-term sustainability only when actions are designed and implemented in support of this fundamental principle. Beyond ecological challenges, operational and structural barriers also play a decisive role. The absence of comprehensive national guidelines for the release, monitoring, and evaluation of biological agents, institutional fragmentation and coordination gaps, limited access to specialized infrastructure, and logistic difficulties in extensive and rugged forest landscapes complicate biological control programs. In addition, the relatively slow and gradual nature of biological control outcomes, compared with chemical interventions, may reduce confidence among managers and stakeholders. Concerns regarding potential unintended effects on non-target species constitute another important challenge. Furthermore, limitations in the mass production and quality control of biological agents, inadequate genetic resources, and lack of sustained financial and policy support undermine long-term implementation of this approach.

Conclusion: Addressing these challenges requires a fundamental shift in management perspectives and the adoption of an integrated, multi-horizon strategy that operates in both the short and long term. Such a strategy includes maintaining and enhancing natural enemy populations through habitat management; shifting from episodic interventions to ecosystem-based management; expanding basic research to clarify the ecology of native agents; developing standardized national protocols for releases and monitoring; securing sustained institutional and financial support; and strengthening technical collaborations internationally to transfer knowledge and technologies. Despite these obstacles, within Integrated Pest Management (IPM), biological control is not merely an option but an indispensable requirement for maintaining long-term stability, ecosystem health, and ecological balance in Iran's forests.

Keywords: Biological control, natural enemies, ecological balance, forest.

مقاله علمی تحلیلی

چالش‌ها و راهکارهای توسعه کنترل زیستی در مدیریت آفات جنگلی ایران

سمیرا فراهانی^{۱*}، حسن عسکری^۲ و سیده معصومه زمانی^۳ 

*۱- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
پست الکترونیک: s.farahani@rifr-ac.ir

۲- استاد پژوهش، مؤسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۱۹

تاریخ اصلاح نهایی: ۱۴۰۴/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۵

چکیده

سابقه و هدف: جنگل‌های ایران به‌عنوان اکوسیستم‌هایی پیچیده، پویا و چندلایه، نقش بنیادینی در حفظ تنوع زیستی، تنظیم چرخه‌های آب و هوا، تثبیت خاک، ذخیره کربن و حمایت از معیشت جوامع محلی ایفا می‌کنند. پایداری این اکوسیستم‌های ارزشمند در گرو مدیریت مؤثر عوامل تهدیدکننده، به‌ویژه آفات جنگلی است. در این میان، کنترل بیولوژیکی به‌عنوان رویکردی پایدار، سازگار با محیط‌زیست و مبتنی بر فرایندهای طبیعی، جایگزینی مناسب برای روش‌های شیمیایی محسوب می‌شود. این روش با بهره‌گیری از دشمنان طبیعی آفات ازجمله شکارچیان، پارازیتوئیدها، عوامل بیماری‌زا و سایر عوامل تنظیم‌کننده زیستی، تلاش می‌کند جمعیت آفات را در سطحی پایین‌تر از آستانه زیان اقتصادی یا اکولوژیک نگه دارد. با وجود مزایای متعدد، توسعه و اجرای مؤثر این راهبرد در جنگل‌های ایران با چالش‌های گوناگون ساختاری، زیست‌محیطی، فنی و مدیریتی مواجه است. هدف این پژوهش، تحلیل مهمترین چالش‌های توسعه و به‌کارگیری کنترل بیولوژیکی در مدیریت آفات جنگلی ایران و ارائه راهکارهایی برای تقویت اثربخشی و پایداری این رویکرد در چارچوب مدیریت اکوسیستمی جنگل است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه با رویکردی مروری-تحلیلی و با تکیه بر منابع علمی موجود و تجربیات میدانی، به بررسی مهمترین موانع توسعه کنترل بیولوژیکی در مدیریت آفات جنگلی در ایران می‌پردازد و راهکارهایی برای تقویت آن ارائه می‌دهد. نتایج و یافته‌ها: در ریشه‌ای‌ترین سطح، پیچیدگی ذاتی اکوسیستم‌های جنگلی و احتمال برهم خوردن تعادل اکولوژیک ناشی از معرفی عوامل جدید، خطری جدی محسوب می‌شود. این موضوع با کمبود داده‌های پایه شامل بانک‌های اطلاعاتی ناقص از دشمنان طبیعی بومی و مطالعات محدود بر زیست‌شناسی و دینامیک جمعیت آنها تشدید می‌گردد. از سوی دیگر، برخی فعالیت‌های انسانی مانند جنگل‌زدایی، تخریب زیستگاه، چرای بی‌رویه دام، بهره‌برداری ناپایدار و کشت محصولات زیر اشکوب جنگل که اغلب با مصرف آفت‌کش‌ها همراه است، موجب کاهش جمعیت دشمنان طبیعی و تضعیف ظرفیت خودتنظیمی اکوسیستم می‌شود. همچنین، تغییرات اقلیمی، خشکسالی‌های مکرر، کاهش پوشش گیاهان گلدار در کف جنگل و وقوع طوفان‌های گردوغبار ازجمله عوامل کلان‌مقیاسی هستند که پایداری جمعیت عوامل کنترل‌کننده طبیعی را تهدید می‌کنند. نکته بنیادین آن است که مؤثرترین و پایدارترین خط دفاعی در برابر آفات، کنترل بیولوژیک طبیعی در اکوسیستم جنگل است و هرگونه راهبرد مدیریتی باید نخست بر شناسایی و صیانت از این سازوکار خودتنظیم متمرکز شود. بر این اساس، رویارویی با موانع فنی و عملیاتی پیش‌رو، تنها زمانی به پایداری بلندمدت می‌انجامد که در چارچوب تقویت همین اصل بنیادین طراحی و اجرا گردد. علاوه بر چالش‌های اکولوژیک، موانع عملیاتی و ساختاری نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارند. نبود دستورالعمل‌های ملی جامع برای رهاسازی، پایش و ارزیابی عوامل بیولوژیکی، ناهماهنگی نهادی، کمبود زیرساخت‌های تخصصی و دشواری‌های لجستیکی در مناطق جنگلی وسیع و ناهموار، اجرای برنامه‌های کنترل بیولوژیکی را پیچیده می‌سازد. همچنین، ماهیت تدریجی و نسبتاً کند نتایج کنترل بیولوژیکی در مقایسه با روش‌های شیمیایی، گاهی موجب کاهش اعتماد

مدیران و بهره‌برداران می‌شود. نگرانی درباره احتمال اثرهای ناخواسته بر گونه‌های غیرهدف نیز از دیگر چالش‌های مطرح است. افزون بر این، محدودیت در تولید انبوه و باکیفیت عوامل بیولوژیکی، کمبود ذخایر ژنتیکی و نبود حمایت مالی و سیاستی، پشتیبانی بلندمدت از این راهبرد را تضعیف می‌کند.

نتیجه‌گیری: غلبه بر این چالش‌ها، مستلزم تغییر بنیادین در نگرش مدیریتی و اتخاذ یک راهبرد جامع است که در کوتاه‌مدت و بلندمدت عمل کند. این راهبرد شامل حفظ و تقویت جمعیت دشمنان طبیعی از طریق مدیریت زیستگاه، تغییر رویکرد از مداخلات مقطعی به مدیریت اکوسیستم‌محور، گسترش تحقیقات پایه برای شناخت اکولوژی عوامل بومی، تدوین شیوه‌نامه‌های استاندارد ملی برای رهاسازی و پایش، جلب حمایت‌های نهادی و مالی پایدار و توسعه همکاری‌های فنی بین‌المللی برای انتقال دانش و فناوری می‌باشد. با وجود همه این موانع، کنترل بیولوژیک در چارچوب مدیریت تلفیقی آفات (IPM)، نه تنها یک گزینه، بلکه ضرورتی انکارناپذیر برای حفظ پایداری، سلامت و تعادل اکولوژیک جنگل‌های ایران در بلندمدت به‌شمار می‌آید.

واژه‌های کلیدی: کنترل بیولوژیک، دشمنان طبیعی، تعادل اکولوژیک، جنگل.

مقدمه

جنگل‌های ایران، به‌عنوان سرمایه‌های طبیعی بی‌بدیل و ریه‌های حیاتی کشور، نقش تعیین‌کننده‌ای در حفظ تعادل بوم‌شناختی، تعدیل اقلیم، حفاظت از منابع آب و خاک و پایداری معیشت جوامع محلی ایفا می‌کنند. این اکوسیستم‌ها، از جنگل‌های انبوه و مرطوب هیرکانی در شمال تا جنگل‌های تنک و مقاوم زاگرسی در غرب و جنوب‌غرب، نه تنها از غنای بالای گونه‌ای برخوردارند، بلکه به‌دلیل قرارگیری در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهانی، از حساسیت و آسیب‌پذیری اکولوژیک فوق‌العاده‌ای رنج می‌برند. چنین شرایطی، آنها را در برابر هرگونه اختلال، ازجمله طغیان آفات و بیماری‌ها، به شدت آسیب‌پذیر کرده است (Farashiani et al., 2023; Zarghani et al., 2022).

مدیریت آفات در چنین اکوسیستم‌های پیچیده، حساس و در عین حال حیاتی، نیازمند راهبردهایی است که پایدار، سازگار با طبیعت و کمترین تداخل را با فرآیندهای بوم‌شناختی ذاتی داشته باشد. در این چارچوب، کنترل بیولوژیک مبتنی بر دشمنان طبیعی (شکارگران، پارازیتوئیدها و عوامل بیماری‌زا)، به‌ویژه با تأکید بر گونه‌های بومی سازگار، یک راهبرد امیدبخش و بلندمدت محسوب می‌شود (Farahani et al., 2023; Vacante & Bonsignore, 2017). با این حال، باید تأکید کرد که مؤثرترین و پایدارترین شکل کنترل بیولوژیک، سیستم کنترل طبیعی موجود در بطن

همان اکوسیستم است که حاصل هم‌زیستی طولانی‌مدت گونه‌ها می‌باشد. بنابراین، هرگونه برنامه مدیریتی باید در گام نخست بر شناسایی و حفاظت از این سیستم ذاتی متمرکز شود و مداخلات جدید (کنترل بیولوژیک کاربردی) تنها در موارد ضروری و به‌عنوان مکمل مورد توجه قرار گیرد.

در برابر این ضرورت، روش‌های شیمیایی کنترل آفات در عرصه‌های جنگلی ایران نه تنها نامناسب، که اساساً مخرب هستند. سموم شیمیایی با نابودی دشمنان طبیعی بومی، ایجاد مقاومت در آفات و آلودگی گسترده خاک و آب، تنها مشکل را پیچیده‌تر و پرهزینه‌تر می‌نمایند و بقای بلندمدت این اکوسیستم‌های شکننده را تهدید می‌کنند (Ashtari, 2023). با وجود پذیرش این اصول و افزایش آگاهی‌های زیست محیطی، توسعه عملی کنترل بیولوژیک در جنگل‌های ایران با چالش‌های ساختاری، دانشی و اجرایی عمیقی روبروست که ریشه در شرایط خاص بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی کشور دارد.

اگرچه اهمیت کنترل بیولوژیک به‌طور نظری پذیرفته شده، اما فاصله قابل توجهی بین این دانش و اجرای مؤثر آن در عرصه‌های جنگلی ایران وجود دارد. این شکاف عمدتاً ناشی از نبود درک جامع از اکولوژی و دینامیک جمعیت دشمنان طبیعی بومی در هریک از اکوسیستم‌های اصلی جنگلی کشور است. بدون این دانش بوم‌محور، هرگونه برنامه‌ریزی برای حفاظت یا به‌کارگیری این عوامل، ممکن است به اقداماتی

چالش‌های کنترل بیولوژیک در مدیریت آفات جنگلی ایران مدیریت پایدار آفات جنگلی از طریق کنترل بیولوژیک در ایران با چالش‌های متعددی روبه‌رو است که عمدتاً ناشی از فعالیت‌های انسانی و تغییرات محیطی هستند. این عوامل نه تنها جمعیت آفات را افزایش می‌دهند، بلکه باعث کاهش کارایی دشمنان طبیعی نیز می‌شوند.

با توجه به ماهیت چندبعدی و درهم‌تنیده چالش‌های کنترل بیولوژیک، تحلیل آنها نیازمند یک چارچوب ساختاریافته است. در این راستا، چالش‌ها در پنج حوزه کلیدی اطلاعاتی، اکولوژیکی، فنی، اقتصادی و سیاستی- نهادی گروه‌بندی شده‌اند (شکل ۱) که مبنای بحث تفصیلی قرار می‌گیرد. این دسته‌بندی به ما امکان می‌دهد تا مسائل را ریشه‌یابی کرده و در ادامه، راهکارهای عملیاتی و اولویت‌بندی‌شده‌ای را برای هر سطح ارائه دهیم.

ناکارآمد یا حتی خطرناک منجر شود. بنابراین، گام اول در هر راهبرد توسعه، شناسایی دقیق چالش‌های پیش‌رو و ریشه‌یابی آنها در شرایط خاص ایران است.

این مقاله با رویکرد مروری-تحلیلی تدوین شده است. داده‌ها و مبانی نظری از طریق بررسی نظام‌مند منابع کتابخانه‌ای شامل مقالات علمی منتشرشده در مجلات معتبر داخلی و بین‌المللی، کتاب‌های تخصصی، گزارش‌های پژوهشی داخلی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و مستندسازی تجربیات میدانی مؤلفان در عرصه‌های جنگلی ایران گردآوری شده‌اند. چارچوب تحلیلی مقاله مبتنی بر دسته‌بندی ساختاریافته چالش‌ها در پنج حوزه اطلاعاتی، اکولوژیکی، فنی، اقتصادی و سیاستی-نهادی است. راهکارهای پیشنهادی نیز با توجه به اولویت‌زمانی (کوتاه‌مدت، بلندمدت) و سطح اقدام (زیرساختی، راهبردی، توسعه‌ای) سازماندهی و ارائه شده‌اند.



شکل ۱- انواع چالش‌های کنترل زیستی در مدیریت آفات جنگلی ایران

Figure 1. Types of biological control challenges in forest pest management in Iran

۱- چالش‌های اطلاعاتی

- فقدان مطالعات پایه‌ای در مورد اکولوژی آفات جنگلی و ارزیابی کمی عوامل تنظیم‌کننده جمعیت آن‌ها
- پایه هر برنامه مدیریت پایدار آفات، شناخت اکولوژیک عمیق از سیستم آفت-دشمن طبیعی در بستر محیط خاص آن است. چالش بنیادین در این مرحله، فقدان مطالعات سیستماتیک برای تدوین جدول زندگی آفات مهم جنگلی و ارزیابی کمی نقش هریک از عوامل مؤثر در تنظیم جمعیت (اعم از عوامل زنده مانند پارازیتوئیدها، شکارگرها و پاتوژن‌ها و غیرزنده مانند تنش‌های اقلیمی) است. بدون این داده‌ها، نه تنها امکان پیش‌بینی طغیان آفات وجود ندارد، بلکه تشخیص این موضوع که آیا اکوسیستم قادر به خودتنظیمی است یا نیاز به مداخله دارد، ناممکن خواهد بود. چنین مطالعاتی دقیقاً مشخص می‌کند که کدام عامل طبیعی کلیدی است و باید حمایت شود و در چه شرایطی (و در چه مرحله‌ای از زندگی آفت) مداخله کنترل بیولوژیک کاربردی واقعاً ضروری خواهد بود. تمرکز بر این شناخت، اساس رفع چالش‌های اکولوژیکی و اطلاعاتی است.
- عدم وجود بانک‌های اطلاعاتی جامع از دشمنان طبیعی بومی کشور

کمبود تحقیقات پایه‌ای در مورد دشمنان طبیعی بومی و تعاملات اکولوژیک آنها با آفات هدف، یکی از چالش‌های اساسی در اجرای موفق برنامه‌های کنترل بیولوژیک آفات می‌باشد (Farahani & Kouhjani Gorji, 2025; Zalucki, 2015). فقدان بانک‌های اطلاعاتی جامع از گونه‌های شکارگر، پارازیتوئید و پاتوژن‌های بومی، برنامه‌ریزی و اجرای کنترل بیولوژیک را با دشواری مواجه کرده است. بسیاری از مطالعات موجود به بررسی شناسایی، پراکنش و زیست‌شناسی اولیه محدود شده‌اند و داده‌های کمی در مورد پارامترهای حیاتی مانند میزان حمله، ترجیح میزبانی، سازگاری با شرایط محیطی و رقابت بین گونه‌ای این عوامل وجود دارد. این کمبود اطلاعات، ارزیابی دقیق ظرفیت کنترل بیولوژیک عوامل بومی و پیش‌بینی نتایج رهاسازی آنها در اکوسیستم‌های جنگلی را ناممکن می‌سازد. برای رفع این

نقص، انجام مطالعات اکوفیزیولوژیک بلندمدت، ایجاد کلکسیون‌های مرجع از دشمنان طبیعی و توسعه بانک‌های اطلاعاتی جامع با استفاده از روش‌های مولکولی و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) ضروری به نظر می‌رسد. چنین پایگاه‌های داده‌ای می‌توانند مبنای علمی مناسبی برای انتخاب عوامل کنترل بیولوژیک کارآمد و بومی‌سازی روش‌های مدیریت تلفیقی آفات فراهم نمایند.

۲- چالش‌های اکولوژیکی

- پیچیدگی اکوسیستم‌های جنگلی و ملاحظات ضروری جنگل‌ها به عنوان پیچیده‌ترین و بویاترین اکوسیستم‌های خشکی‌زی، از شبکه‌های غذایی ظریف و درهم‌تنیده‌ای تشکیل شده‌اند که هرگونه تغییر در یک جزء آن می‌تواند اثرهای زنجیره‌ای گسترده‌ای ایجاد کند. این ویژگی، اجرای برنامه‌های کنترل بیولوژیک را با چالش‌های منحصر به فردی مواجه می‌سازد. حتی معرفی گونه‌های به ظاهر اختصاصی می‌تواند تعادل اکولوژیک را بر هم زند. پیامدهای چنین اختلالی ممکن است برای سال‌ها در اکوسیستم باقی بماند. تجربیات جهانی نشان داده است که عدم توجه به این پیچیدگی‌ها می‌تواند به نتایج فاجعه‌باری منجر شود. برای نمونه، معرفی برخی گونه‌های غیربومی برای کنترل آفات در نقاط مختلف جهان، در مواردی به جای حل مشکل، موجب ایجاد گونه‌های مهاجم جدید شده است. این عوامل کنترل‌کننده گاهی اوقات به جای هدف اصلی، به گونه‌های بومی غیرهدف حمله کرده‌اند یا با رقابت با دشمنان طبیعی بومی، آنها را از چرخه غذایی حذف کرده‌اند (Howarth, 1991).

نکته کلیدی این است که کنترل بیولوژیک در جنگل‌ها باید با رویکرد «حداقل مداخله» انجام شود (Lindenmayer & Franklin, 2002). این نکته حائز اهمیت است که بسیاری از روش‌های کنترل بیولوژیک وارداتی هستند و ممکن است با شرایط اقلیمی و اکولوژیکی کشور سازگار نباشند. بنابراین در بسیاری از موارد، تقویت جمعیت دشمنان طبیعی بومی از طریق بهبود شرایط زیستگاهی، نتایج پایدارتر و کم‌خطرتری

نسبت به معرفی گونه‌های جدید دارد. این رویکرد ضمن حفظ تعادل اکولوژیک، از بروز پیامدهای ناخواسته نیز پیشگیری می‌کند (Farahani & Rajabi Mazhar, 2020).

در نهایت، موفقیت برنامه‌های کنترل بیولوژیک در جنگل‌ها مستلزم همکاری تیم‌های چندرشته‌ای شامل اکولوژیست‌ها، حشره‌شناسان، متخصصان بیماری‌های گیاهی و مدیریت جنگل است. تنها با چنین نگرش جامعی می‌توان از کنترل بیولوژیک به عنوان ابزاری مؤثر و در عین حال ایمن برای مدیریت پایدار آفات جنگلی بهره برد. کنترل بیولوژیک یک فناوری ساده نیست، بلکه «علمی اکولوژی محور» است که موفقیت آن کاملاً وابسته به پایه‌های اطلاعاتی محکم درباره ذخایر ژنتیکی و عملکردی بومی است.

• دشواری مدیریت توزیع دشمنان طبیعی در جنگل

ناهمواری‌های شدید توپوگرافی، از جمله شیب‌های تند، دره‌های عمیق و ارتفاعات پرشیب، دسترسی فیزیکی به عرصه‌های جنگلی را به شدت محدود می‌کند، چنان‌که نمونه بارز آن در ارتفاعات پرشیب جنگل‌های بلوط زاگرس مشهود است (شکل ۲). رهاسازی دستی عوامل بیولوژیک در چنین شرایطی به عملیاتی پرهزینه، زمانبر و اغلب غیرممکن تبدیل می‌شود. حتی روش‌های رهاسازی هوایی کلاسیک (مانند استفاده از هواپیما) در این عرصه‌ها، با چالش‌های جدی مواجه است و در مواردی خطرات ایمنی را نیز به همراه دارد. این چالش در جنگل‌های زاگرس شدیدتر است و شیب‌های تند، عرصه را برای هرگونه حرکت مکانیزه بسته است. بنابراین، چالش توزیع یکنواخت تنها یک مشکل فنی نیست، بلکه یک مانع اکولوژیک-جغرافیایی است که موفقیت پروژه‌های کنترل بیولوژیک را مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد.

این ناهمواری‌ها نه تنها دسترسی فیزیکی برای رهاسازی عوامل بیولوژیک را دشوار می‌سازد، بلکه به عنوان موانعی طبیعی، پراکنش و جابه‌جایی این عوامل را پس از رهاسازی

نیز به شدت محدود می‌کنند. این پدیده منجر به ایجاد «جمعیت‌های جزیره‌ای» می‌شود که در آن عوامل بیولوژیک قادر نیستند به‌طور طبیعی به دیگر کانون‌های آلودگی دسترسی یابند. در نتیجه، حتی اگر یک عامل بیولوژیک با موفقیت در یک نقطه مستقر شود، موانع فیزیکی مانع از آن می‌شوند که بتواند نقش خود را به‌طور مؤثر در تمامی عرصه آلوده ایفا کند و این موضوع باعث بقای کانون‌های بحرانی آفت و شکست برنامه‌های کنترل یکپارچه می‌شود. شکل ۲ به‌وضوح این شرایط دشوار توپوگرافیک را در جنگل‌های بلوط استان کهگیلویه و بویراحمد مستند می‌سازد و محدودیت‌های مذکور را عینیت می‌بخشد.

این چالش به‌وضوح در برنامه کنترل شب‌پره شمشاد (*Cydalis perspectalis*) در جنگل‌های هیرکانی مشاهده شد. در این برنامه که با استفاده از باکتری *Bacillus thuringiensis* انجام شد، ساختار مترکم و چندلایه جنگل مانع عمده‌ای برای دسترسی فیزیکی ایجاد کرد. درختچه‌های آلوده شمشاد عمدتاً در اشکوب زیرین و زیر سایه‌بان درختان بلند قرار داشتند (شکل ۳) که دسترسی مستقیم برای پخش یکنواخت عامل بیوکنترل را غیرممکن یا بسیار دشوار می‌کرد. در این شرایط، محلول‌پاشی هوایی به دلیل تاج پوشش مترکم با اتلاف بالا و پوشش نامناسب همراه بود و روش زمینی نیز به دلیل ناهمواری زمین و پراکندگی کانون‌های آلودگی، روشی پرهزینه و زمان‌بر محسوب می‌شد. این محدودیت‌های دسترسی، نه تنها هزینه‌های اجرایی را افزایش داد، بلکه خطر توزیع ناهمسان و اثربخشی ناقص عامل در کانون‌های بحرانی را به دنبال داشت. این مورد به‌روشنی نشان می‌دهد که چگونه موانع توپوگرافیک و ساختار جنگل می‌توانند حتی در جنگل‌هایی با اقلیم متفاوت (هیرکانی در مقابل زاگرس) به عنوان یک مانع اکولوژیک-عملیاتی مشترک، کارایی برنامه‌های کنترل بیولوژیک را تضعیف کنند.



شکل ۲- ارتفاعات پرشیب جنگل‌های بلوط استان کهگیلویه و بویراحمد (اصلی)

Figure 2. The steep highland areas of the oak forests in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province (Original)



شکل ۳- درختان شمشاد جنگلی آلوده به شب‌پره شمشاد *Cydalima perspectalis* در زیر اشکوب جنگل (استان گیلان) (اصلی)

Figure 3. Box tree moth (*Cydalima perspectalis*) infestation on box trees in the forest understory (Guilan province) (Original).

زیستگاه گونه‌های مفید شکارگر را از بین می‌برد (Farashiani et al., 2022; Khoshzahr et al., 2016). از دست دادن این زیستگاه‌ها به کاهش مستقیم جمعیت حشرات مفید و افزایش خطر طغیان آفات منجر می‌شود. بر این اساس، ضروری است تا برنامه‌های مدیریت جنگل بر حفظ ساختارهای اکولوژیک کلیدی مانند خشک‌دارها استوار شوند. چنین رویکردی که کاهش دخالت در مناطق حساس و احیای جنگل را نیز دربرمی‌گیرد، به بازگرداندن کارکردهای طبیعی و کنترل بیولوژیک آفات کمک شایانی می‌کند.

• بهره‌برداری شدید عرصه‌ها و کاهش تنوع زیستی دشمنان طبیعی مدیریت نادرست عرصه‌های جنگلی، از جمله بهره‌برداری بیش از حد، تغییر کاربری اراضی و تخریب زیستگاه‌ها، تعادل طبیعی اکوسیستم را برهم می‌زند. این اقدامات باعث کاهش تنوع زیستی و حذف گونه‌های مفید می‌شود که نقش کلیدی در کنترل طبیعی آفات دارند (Lindenmayer & Franklin, 2002; Gossner et al., 2016). برای نمونه، شواهد نشان می‌دهد که حذف خشک‌دارهای سرپا و افتاده از کف جنگل (شکل ۴) یک عامل تهدیدکننده برای تنوع زیستی است، زیرا



شکل ۴- وجود خشک‌دار سرپا و افتاده در جنگل (استان گلستان) و ارتباط آن با حفظ تنوع زیستی حشرات مفید (اصلی)

Figure 4. The presence of decaying wood in the forest (Golestan province) and and its association with beneficial insect biodiversity (Original)

مهم شهد و گرده برای بسیاری از حشرات مفید مانند زنبورهای گرده‌افشان و شکارگرها هستند، شده است (Farahani & Kouhjani Gorji, 2025). برای نمونه، بسیاری از زنبورهای پارازیتوئید برای تکمیل چرخه زندگی

• تأثیر خشکسالی‌های مکرر و کاهش گیاهان گلدار در کف جنگل خشکسالی‌های اخیر در ایران روی پوشش گیاهی کف جنگل‌ها تأثیر گذاشته و باعث کاهش گیاهان گلدار که منبع

بسیاری از این عوامل بومی به دلیل سازگاری با محیط، عمومی هستند تا شانس بقای خود را در شرایط سخت افزایش دهند. بنابراین شناسایی دقیق، مطالعه اکولوژیک عمیق و پایش بلندمدت اجزای غیرقابل اجتناب هر پروژه کنترل بیولوژیک هستند. موفقیت در این عرصه مستلزم نگاه اکوسیستم‌محور است که در آن تمامی اجزا و ارتباطات غذایی و پیامدها به دقت مورد ارزیابی قرار گیرند.

نکته حائز اهمیت این است که تجربیات موفق در محیط‌های زراعی و باغی را که شرایط کنترل شده و مقیاس کوچکتری دارند نمی‌توان مستقیماً به عرصه جنگل تعمیم داد. یک عامل بیولوژیک رها شده در جنگل، با یک شبکه غذایی غنی و پیچیده مواجه می‌شود که در آن ده‌ها گونه بالقوه شکار یا میزبان جدید وجود دارد. ممکن است رفتار آن در این محیط کاملاً غیرقابل پیش‌بینی باشد. در جنگل با چالش دسترسی و پایش مواجه هستیم و پیگیری اثرهای کنترل بیولوژیک و ارزیابی موفقیت پروژه (اثر بر گونه‌های بومی و در معرض خطر در منطقه) بسیار دشوار و پرهزینه خواهد بود (Waage & Greathead, 1988). برای نمونه، اگر عامل رفتار غیرمنتظره‌ای داشته باشد (مثلاً به گونه‌های غیرهدف حمله کند)، ممکن است ماه‌ها یا سال‌ها طول بکشد تا متوجه آن شویم. از سویی در اکوسیستم‌های کشاورزی معمولاً با آفات در جمعیت‌های بسیار بالا و متمرکز روبرو هستیم که هدف آسانی برای عوامل بیولوژیک هستند. در مقابل در جنگل، جمعیت آفات ممکن است در پراکنده و با تراکم کمتر وجود داشته باشد و عامل بیولوژیک ممکن است نتواند در تراکم پایین جمعیت آفت را پیدا کند و کارایی خود را از دست بدهد یا برای یافتن غذا به سراغ گونه‌های دیگر برود.

۳- چالش‌های فنی

- نبود استانداردهای مشخص برای رهاسازی و پایش عوامل کنترل بیولوژیک
- یکی از موانع جدی در اجرای موفق برنامه‌های کنترل بیولوژیک در ایران، فقدان دستورالعمل‌های استاندارد برای رهاسازی و پایش دشمنان طبیعی است. این نقیصه، منجر به

خود به شهد گل‌ها نیاز دارند و نبود این منابع می‌تواند جمعیت آنها را به شدت کاهش دهد. راهکار این مشکل، کاشت گیاهان گلدار بومی در حاشیه جنگل‌ها و ایجاد کریدورهای اکولوژیکی است که هم به حفظ حشرات مفید کمک می‌کند و هم تنوع زیستی را افزایش می‌دهد.

- افزایش حضور ریزگردها و تأثیر آن بر اکوسیستم‌های جنگلی

ریزگردها نه تنها بر سلامت انسان‌ها تأثیر منفی دارند، بلکه می‌توانند بر زندگی حشرات و گیاهان نیز اثر بگذارند. ذرات ریز گردوغبار با پوشاندن سطح برگ‌ها، فرایند فتوسنتز را مختل می‌نمایند. این مسئله به‌طور غیرمستقیم جمعیت آفات را افزایش می‌دهد، زیرا گیاهان ضعیف‌تر بیشتر در معرض حمله آفات قرار می‌گیرند. از سوی دیگر، ذرات گردوغبار می‌تواند به‌طور مستقیم بر عملکرد گیرنده‌های حسی (مانند شاخک‌ها، چشم‌ها یا اندام‌های لمسی) دشمنان طبیعی تأثیر بگذارد و زمان و انرژی آنها را برای تمیز کردن این اندام‌ها افزایش دهد. این فرایند فرصت جستجوگری و شکار را کاهش می‌دهد و باعث کاهش کارایی دشمنان طبیعی می‌شود. تثبیت خاک‌های بیابانی در کانون‌های تولید ریزگرد و ایجاد بادشکن‌های طبیعی از طریق کاشت درختان و درختچه‌های مقاوم، می‌تواند نقش مؤثری در کاهش پدیده ریزگردها داشته باشد.

- اختصاصی عمل نکردن دشمنان طبیعی در شرایط جنگل
- تخصصی عمل نکردن بسیاری از عوامل مفید بومی و معرفی شده یکی دیگر از چالش‌های فرا روی کنترل بیولوژیک در ایران است. برخلاف عوامل بیولوژیک بسیار تخصصی که میزبان خاصی را هدف قرار می‌دهند، عوامل بیولوژیک عمومی، طیف وسیعی از میزبان‌ها را مورد حمله قرار می‌دهند. این رفتار اگرچه در نگاه اول نشان‌دهنده ظرفیت بالای کنترل به نظر می‌رسد، اما در عمل می‌تواند تهدیدی جدی برای تنوع زیستی و موفقیت بلندمدت برنامه‌های مدیریت آفات باشد.

در بسیاری از برنامه‌ها، به دلیل ملاحظات اکولوژیک، از دشمنان طبیعی بومی موجود در اکوسیستم استفاده می‌شود.

تمرکز داشته باشند.

نکته حائز اهمیت این است که این همکاری‌ها باید با هدف نهایی خودکفایی و توسعه دانش بومی انجام شود. به بیان دیگر، انتقال فناوری و دانش باید به گونه‌ای باشد که در نهایت منجر به ایجاد توانمندی‌های داخلی و توسعه راهکارهای بومی شود. برای تحقق این هدف، نیازمند برنامه‌ریزی بلندمدت، سرمایه‌گذاری پیوسته و ایجاد چارچوب‌های لازم برای جذب و بومی‌سازی دانش دریافت‌شده هستیم.

خوشبختانه، موفقیت‌های تحقیقاتی داخلی در شناسایی و ارزیابی عوامل بیماری‌زای بومی مؤثر علیه آفات مهم برگ‌خوار جنگلی (مانند شب‌پره سفید بلوط *Leucoma wiltshirei* Collenette، شب‌پره سفید آمریکایی *Hyphantria cunea* (Drury)، شب‌پره شمشاد *Porthesia melania* Stgr. و گواه ظرفیت بالای کشور در این عرصه است (Zamani et al., 2018, 2023, 2025; Alinejad et al., 2025; Gholami Ghavamabad et al., 2024). تمرکز راهبردی آینده باید بر تکمیل زنجیره فناوری، از حفاظت و بانک‌سازی این ذخایر ارزشمند ژنتیکی تا توسعه روش‌های تولید صنعتی و ثبت ملی آنها، قرار گیرد.

۴- چالش‌های اقتصادی

- پیچیدگی‌های ارزیابی اقتصادی کنترل بیولوژیک در جنگل‌ها (نبود یک معیار سنجش ثابت و جهانی برای ارزیابی موفقیت)

یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها، مشکل کمی‌سازی ارزش واقعی کنترل بیولوژیک است که عمدتاً ناشی از ماهیت پیچیده و چندبعدی تأثیرات آن می‌باشد. اگرچه می‌توان خسارت مستقیم آفات را کمی کرد، اما سنجش ارزش منافع غیرمستقیم بسیار دشوار است. منافع‌هایی مانند کاهش آلودگی، حفظ تنوع زیستی، جذب کربن یا تأمین علوفه به سختی قابل اندازه‌گیری است. در حقیقت برای ارزیابی دقیق نیاز به داده‌های بلندمدت می‌باشد. اثرهای کنترل بیولوژیک ممکن است سال‌ها پس از اجرای برنامه ظاهر شوند. این ویژگی، مقایسه اقتصادی آن با

اجرای ناهماهنگ برنامه‌ها، ارزیابی نادرست اثربخشی و در برخی موارد حتی بروز پیامدهای اکولوژیک ناخواسته می‌شود. در حال حاضر، برای تعیین معیارهای مشخصی مانند تراکم بهینه رهاسازی، زمان‌بندی مناسب (متناسب با چرخه زندگی آفت و عامل کنترل‌کننده)، روش رهاسازی (نقطه‌ای یا گسترده) و نیز سازوکارهای پایش بلندمدت، چارچوب یکسانی وجود ندارد. این وضعیت امکان مقایسه نتایج مطالعات مختلف و ارزیابی جامع اثربخشی روش‌ها را غیرممکن می‌سازد (Waage & Greathead, 1988).

- محدودیت در تولید، ذخیره‌سازی و رهاسازی عوامل بیولوژیک

تولید انبوه عوامل کنترل بیولوژیک (از زنبورهای پارازیتوئید تا نماتدها، باکتری‌ها و قارچ‌ها) به فناوری پیشرفته‌ای نیاز دارد. این زیرساخت در ایران هنوز به‌طور کامل توسعه نیافته است. یکی از مؤثرترین راهکارها، برقراری همکاری‌های هدفمند با کشورهای پیشرو در این زمینه است. این همکاری می‌تواند از طریق امضای تفاهم‌نامه، مشارکت در پژوهش‌های مشترک و تبادل دانشجو و پژوهشگر انجام شود. این کشورها با دهه‌ها تجربه موفق، می‌توانند به عنوان شرکای علمی ارزشمندی عمل کنند. در بعد فناوری، این همکاری‌ها می‌تواند دسترسی به دانش فنی پیشرفته در زمینه‌هایی مانند روش‌های تکثیر انبوه عوامل بیولوژیک، تکنیک‌های رهاسازی کنترل‌شده و سیستم‌های پایش هوشمند را فراهم نماید. همچنین، همکاری با سازمان‌های بین‌المللی مانند فائو می‌تواند امکان دسترسی به منابع مالی و فنی بین‌المللی را افزایش دهد. البته باید توجه داشت این همکاری‌ها با چالش‌هایی مانند محدودیت‌های مالی، تحریم‌های بین‌المللی و تفاوت‌های اکولوژیکی مناطق روبروست.

در بعد آموزشی، برگزاری دوره‌های مشترک آموزشی با حضور استادان برجسته بین‌المللی، کارگاه‌های تخصصی و برنامه‌های فرصت مطالعاتی می‌تواند به ارتقای سطح دانش متخصصان ایرانی کمک شایانی بکند. این برنامه‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که ضمن انتقال دانش روز دنیا، بر نیازهای بومی کشور و شرایط اکولوژیکی خاص ایران نیز

زمان‌بر است و ممکن است در کوتاه‌مدت نتایج ملموسی نداشته باشد (Waage & Greathead, 1988). این موضوع باعث کاهش تمایل مسئولان به سرمایه‌گذاری در این حوزه می‌شود.

برخلاف سیستم‌های کشاورزی که معیار اصلی سطح زیان اقتصادی است، در عرصه‌های جنگلی معیار، حفظ سلامت، یکپارچگی و خدمات اکوسیستم است. خدمات غیرقابل خریداری، زیرساختی و غیربازاری مانند تأمین آب سالم، تعدیل اقلیم، حفظ خاک و تنوع زیستی، پیش‌نیاز سلامت و حیات انسان هستند و ارزش آنها در محاسبات مالی متعارف نمی‌گنجد. بنابراین، بحث بر سر هزینه‌بر بودن کنترل بیولوژیک نیست، بلکه بر سر اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری بر حفاظت پیشگیرانه به جای پرداخت هزینه‌های گزاف درمانی (مانند مقابله با ریزگردها، سیل، یا از دست رفتن منابع) در آینده است. این نگاه مستلزم همکاری متخصصان بوم‌شناسی، اقتصاد محیط‌زیست و سیاست‌گذاران برای طراحی چارچوبی برای ارزش‌گذاری جامع خدمات اکوسیستمی و تخصیص بودجه براساس ضرورت حفاظتی است، نه فقط بازده مالی کوتاه‌مدت.

با این حال، مطالعات سیستماتیک نشان می‌دهد که در صورت طراحی صحیح و تلفیق با سایر روش‌های مدیریت تلفیقی آفات، کنترل بیولوژیک می‌تواند در بلندمدت منافع پایدارتری نسبت به سایر روش‌ها ایجاد کند. برای جلب حمایت مالی، لابی‌گری با مسئولان برای اختصاص بودجه بیشتر به تحقیقات و اجرای کنترل بیولوژیک و توجیه اقتصادی بلندمدت کنترل بیولوژیک با ارائه مطالعات هزینه-فایده و جذب مشارکت بخش خصوصی و سازمان‌های بین‌المللی مانند فائو می‌تواند راهگشا باشد.

۵- چالش‌های سیاستی و نهادی

همه چالش‌های فنی، اقتصادی و اکولوژیک پیش‌روی کنترل بیولوژیک، ریشه در یک مشکل بنیادی‌تر دارند: «نا توانی در مدیریت صحیح و پایدار عرصه‌های جنگلی». همان‌طور که تجربیات میدانی نشان می‌دهد، دستکاری‌های

سایر روش‌های سریع‌الثر را دشوار می‌سازد (Farahani & Rajabi Mazhar, 2020).

علاوه بر این، پویایی ذاتی اکوسیستم‌های جنگلی بر پیچیدگی‌های ارزیابی می‌افزاید. عوامل محیطی مانند تغییرات اقلیمی، نوسانهای جمعیتی و تداخل گونه‌ها می‌توانند اثربخشی کنترل بیولوژیک را تحت تأثیر قرار دهند. این عدم قطعیت‌ها، پیش‌بینی دقیق نتایج و برآوردهای اقتصادی را با مشکل مواجه می‌کند.

- عدم تقاضا برای استفاده عوامل کنترل بیولوژیک در عرصه‌های طبیعی (وجود نداشتن بازاری برای فروش) مسئله عدم وجود تقاضای مؤثر و بازار اقتصادی برای خرید و استفاده از عوامل کنترل بیولوژیک، یکی از ساختاری‌ترین چالش‌های توسعه کنترل بیولوژیک است. این مشکل ریشه در ماهیت متفاوت عرصه‌های طبیعی در مقایسه با اکوسیستم کشاورزی دارد. در بخش کشاورزی، کشاورز به عنوان یک مالک خصوصی، انگیزه اقتصادی مستقیمی برای سرمایه‌گذاری در کنترل آفات دارد، اما در مورد جنگل‌ها، چنین سازوکار اقتصادی مستقیمی وجود ندارد.

حال چه کسی باید متقاضی و خریدار عوامل کنترل بیولوژیک باشد؟ سازمان‌های متولی مانند سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری بودجه دولتی محدودی دارند که عمدتاً صرف مقابله با بحران‌های فوری مانند آتش‌سوزی می‌شود، نه سرمایه‌گذاری بلندمدت در روش‌های پیشگیرانه.

در غیاب یک تقاضای واقعی در بازار، انگیزه اقتصادی لازم برای بخش خصوصی و شرکت‌های دانش‌بنیان ایجاد نمی‌شود. در نتیجه، آنها تمایلی به سرمایه‌گذاری در تولید انبوه یا تحقیق و توسعه عوامل کنترل بیولوژیک ویژه عرصه‌های طبیعی ندارند.

- نبود حمایت مالی

یکی از بزرگ‌ترین موانع در اجرای موفق کنترل بیولوژیک، عدم حمایت کافی از سوی دولت است. بسیاری از برنامه‌های حفاظتی به دلیل کمبود بودجه یا عدم اولویت‌دهی به محیط‌زیست، نیمه‌کاره رها می‌شوند. کنترل بیولوژیک در مقایسه با سایر روش‌های موجود، پرهزینه‌تر و

تخریب‌های مکرر

فعالیت‌های مخرب انسانی مانند چرای بی‌رویه دام، ساخت‌وسازهای غیرمجاز و برداشت غیراصولی چوب، ساختار جنگل‌ها را تغییر داده و آنها را در برابر آفات و بیماری‌ها آسیب‌پذیرتر می‌کند و شرایط را برای بقا و فعالیت بسیاری از عوامل بیولوژیک دشوار می‌سازد. شکل ۵ نمایی گویا از فشار چرای دام‌های سنگین بر عرصه‌های جنگلی استان کهگیلویه و بویراحمد ارائه می‌دهد که خود مؤید یکی از اصلی‌ترین عوامل تهدیدکننده زیرساخت بیولوژیک جنگل است. چرای بی‌رویه دام شرایط فیزیکی و اکولوژیک لازم برای بقا و فعالیت مؤثر بسیاری از عوامل بیولوژیک کنترل آفت را نیز از بین می‌برد. برای برون‌رفت از این چالش، اجرای قوانین سختگیرانه‌تر برای جلوگیری از تخریب، همراه با مشارکت دادن فعال جوامع محلی در برنامه‌های حفاظتی، ضروریست. برنامه‌هایی مانند جنگل‌داری مشارکتی می‌تواند انگیزه‌ای مستقیم برای محافظت از جنگل‌ها توسط مردم محلی ایجاد کند.

متعدد انسانی و عدم رعایت اصول مدیریت پایدار جنگل، سبب تضعیف کارکردهای تنظیم‌کننده‌های طبیعی اکوسیستم شده است. در یک جنگل با ساختار سالم، آفات مهم عموماً توسط دشمنان طبیعی کارآمد کنترل می‌شوند. این سازوکار تعادل جمعیت را حفظ می‌کند. طغیان‌ها عمدتاً در مناطق خاصی رخ می‌دهد، مانند نقاط تخریب‌شده، عرصه‌های تنک یا حاشیه‌های تحت تنش. باید توجه داشت تا زمانی که سلامت و یکپارچگی اکوسیستم با مدیریت اصولی حفظ نشود، هر گونه سرمایه‌گذاری برای رهاسازی عوامل جدید، احتمالاً نتیجه‌ای موقتی و ناپایدار خواهد داشت و مشکل به نقطه آغاز بازخواهد گشت. بنابراین، اولویت نخست و غیرقابل اجتناب، تغییر رویکرد به سمت مدیریت اکوسیستم‌محور برای حفاظت از دشمنان طبیعی بومی است. این راهبرد نه تنها از نظر اکولوژیکی ایمن‌تر می‌باشد، بلکه در بلندمدت هزینه بسیار کمتری نیز نسبت به مداخلات پیچیده کاربردی تحمیل می‌کند.

- ناپایداری جنگل‌ها بر اثر دستکاری‌های انسانی و

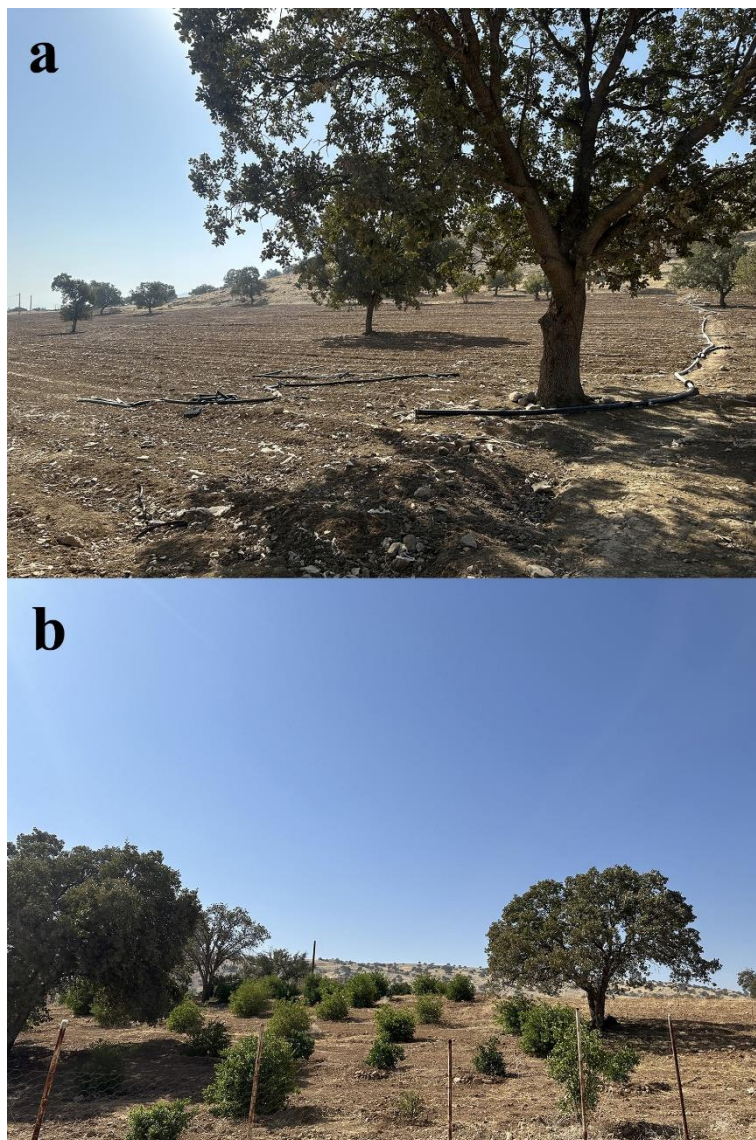


شکل ۵- چرای دام‌های سنگین در عرصه‌های جنگلی استان کهگیلویه و بویراحمد (اصلی)

Figure 5. Grazing by heavy livestock in the forest areas of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province (Original)

تهدیدها برای کنترل بیولوژیک است. شکل ۶ نمونه‌ای گویا از کشت محصولات زراعی و باغی در دل عرصه‌های جنگلی استان کهگیلویه و بویراحمد را نشان می‌دهد.

- کشت‌های زیراشکوب جنگلی و استفاده گسترده از حشره‌کش‌ها
- کشت محصولات زراعی و باغی در زیراشکوب جنگل‌ها، به‌ویژه با استفاده بی‌رویه از سموم شیمیایی، یکی از مهمترین



شکل ۶- زراعت زیراشکوب در جنگل‌های بلوط استان کهگیلویه و بویراحمد، (a) کشت گیاهان زراعی و صیفی، (b) احداث باغ مرکبات (لیموترش) (اصلی)

Figure 6. Understory cultivation in the oak forests of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province: a) Cultivation of crops and vegetables, b) Establishment of a citrus orchard (lemon) (Original)

نکته کلیدی این است که این فعالیت‌های کشاورزی مستقیماً در زیراشکوب و حریم جنگل‌های بلوط انجام

آفات را به سمت روش‌های کم‌اثر اما سریع‌الاث‌ر سوق داده است (Waage & Greathead, 1988). برخلاف سایر روش‌هایی که اثرهایی سریع و کوتاه‌مدت از خود بر جای می‌گذارند، کنترل بیولوژیک نیازمند گذر زمان برای نشان دادن نتایج خود است. تدریجی بودن اثرگذاری کنترل بیولوژیک یک ضعف نیست، بلکه نشان‌دهنده عمق و پایداری اثر آن است. به عبارت دیگر، این روش به اکوسیستم فرصت می‌دهد تا تعادل از دست رفته را بازیابی کند. پذیرش این واقعیت، کلید موفقیت در استفاده از این ابزار قدرتمند است ولی این ویژگی ذاتی، مسائل و مشکلات خاصی را در زمینه مدیریتی، تصمیم‌گیری و پذیرش اجتماعی ایجاد می‌کند.

ویژگی تدریجی بودن کنترل بیولوژیک، مدیران و تصمیم‌گیران را در سطوح مختلف با یک دوراهی پیچیده و چالش‌های عملیاتی مواجه می‌سازد. مسئولان ذی‌ربط به دلیل الزامات پاسخگویی و فشار برای اقدام فوری، ناگزیر به اتکا بر روش‌های موجود در دسترس هستند. از سوی دیگر، سیستم‌های اداری و دولتی معمولاً براساس بودجه‌های سالانه یا حداکثر پنج‌ساله عمل می‌کنند و مدیران موظفند نتایج پروژه‌ها را در همین بازه‌های زمانی کوتاه گزارش و اثربخشی آن را نشان دهند. از آنجایی که نتایج کنترل بیولوژیک تدریجی و بلندمدت است و توجیه اقتصادی و اختصاص بودجه مستمر به آن بسیار دشوار است. این پروژه‌ها به راحتی در برابر پروژه‌های سریع‌الاث‌ر که نتایج فوری دارند، در اولویت پایین‌تری قرار می‌گیرند. این در حالی است که تجربیات بین‌المللی نشان می‌دهد موفقیت کنترل بیولوژیک منوط به تعهد بلندمدت، تخصیص منابع کافی و تغییر نگرش سیاست‌گذاران از «مدیریت بحران محور» به «پیشگیری اکولوژیک محور» است.

راهکارهای توسعه کنترل بیولوژیک در جنگل‌های ایران

۱- اقدامات زیرساختی و بستر ساز (پیش‌نیازها)

راه‌اندازی سیستم پایش پایه: استقرار یک شبکه ساده پایش در کانون‌های بحرانی برای جمع‌آوری داده‌های اولیه، سنگ بنای هر برنامه علمی مدیریت آفات و ارزیابی کنترل

می‌شود. به تبع این الگوی کشت نامناسب، استفاده از سموم شیمیایی برای حفاظت از محصولات کشاورزی در این عرصه‌های حساس جنگلی موضوعی رایج است. این سموم که برای کنترل آفات محصولات کشاورزی به کار می‌روند، به‌طور غیرانتخابی عمل کرده و نه تنها آفات هدف، بلکه دشمنان طبیعی ارزشمندی مانند زنبورهای پارازیتوئید، کفشدوزک‌ها و عنکبوت‌ها را که ساکن طبیعی جنگل هستند، نیز نابود می‌کنند (Ashtari, 2023). علاوه بر این، باقی‌مانده سموم در خاک و آب‌های زیرزمینی عرصه جنگل می‌تواند اثرهای مخرب و بلندمدتی بر سلامت کل اکوسیستم داشته باشد (Neary et al., 2009). بنابراین، برای کاهش تأثیرات منفی این رویه در محیط‌های جنگلی، جایگزینی سموم شیمیایی با روش‌های کم‌خطرتر و سازگار با کنترل بیولوژیک، مانند استفاده از فرمون‌ها، تله‌های مکانیکی و عوامل بیولوژیک، یک ضرورت اکولوژیک است.

تداوم وضعیت نشان‌داده‌شده در شکل ۶ از یکسو بیانگر ضعف نظارتی نهادهای متولی در اجرای قوانین مرتبط با مصرف سموم و حفاظت از جنگل‌هاست و از سوی دیگر، گویای خلأ سیاست‌های کارآمد ترویجی و مشوق‌محور برای جایگزینی روش‌های پایدار است. غلبه بر این چالش مستلزم هماهنگی نهادی بین سازمان‌های منابع طبیعی و آبخیزداری، محیط‌زیست و کشاورزی و تدوین مقررات سختگیرانه برای محدودیت مصرف سموم در این عرصه‌های حساس و طراحی برنامه‌های آموزشی و حمایتی مؤثر برای تغییر الگوی معیشت و کشت جنگل‌نشینان است. بدون اتخاذ یک رویکرد یکپارچه حکمرانی، تداوم این روند، سرمایه‌های طبیعی کنترل بیولوژیک را به نابودی می‌کشاند و امنیت زیستی بلندمدت این اکوسیستم‌ها را تهدید می‌کند.

- دوره طولانی اثرگذاری کنترل بیولوژیک و در اولویت قرار نگرفتن آن (رقابت نابرابر با سایر روش‌ها)

یکی از موانع اساسی در توسعه کنترل بیولوژیک آفات در عرصه‌های طبیعی کشور، نبود راهبرد بلندمدت و اکتفا به راهکارهای مقطعی و سطحی است. این رویکرد نه تنها موجب غفلت از ظرفیت‌های دشمنان طبیعی شده، بلکه نظام مدیریت

اکولوژی و آفات برای مدیریت طغیان‌های ناگهانی آفات پیشنهاد می‌شود.

مدیریت یکپارچه و بین‌بخشی: موفقیت کنترل بیولوژیک مستلزم هماهنگی بین نهادهای مختلف از جمله سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری، سازمان محیط‌زیست، وزارت جهاد کشاورزی و دانشگاه‌هاست. تشکیل «کارگروه ملی کنترل بیولوژیک آفات جنگلی» با حضور نمایندگان این نهادها می‌تواند به برنامه‌ریزی منسجم کمک کند.

۲- اقدامات راهبردی (مدیریت اکوسیستم‌محور)

تغییر راهبرد از رهاسازی به سمت حفاظت و حمایت دشمنان طبیعی بومی: به جای صرف هزینه و انرژی برای رهاسازی عوامل غیربومی و پرریسک، باید بر مدیریت جنگل برای حمایت از دشمنان طبیعی بومی تمرکز داشت. این روش ایمن‌تر، پایدارتر و مقرون‌به‌صرفه‌تر است. حفاظت از زیستگاه با حفظ پوشش گیاهی متنوع برای تأمین پناهگاه و منابع غذایی (شهد و گرده) برای دشمنان طبیعی، اجتناب از سمپاشی‌های گسترده، مدیریت پایدار منابع آب و خاک، مدیریت چرای دام در اکوسیستم‌های حساس، ایجاد پناهگاه‌های مصنوعی (مانند هتل‌های حشرات) یا ساخت آشیانه مصنوعی برای پرندگان شکاری بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

ساماندهی، توسعه و به‌کارگیری دانش موجود در قالب بانک اطلاعاتی ملی: خوشبختانه کشور ما گنجینه‌ای ارزشمند از مطالعات و تجربیات در زمینه دشمنان طبیعی بومی آفات جنگلی، در قالب طرح‌های پژوهشی، پایان‌نامه‌های دانشگاهی و تجربه‌های میدانی مدیران و کارشناسان است. با این حال، این دانش اغلب پراکنده و خارج از دسترس برای تصمیم‌گیران و مجریان در عرصه می‌باشد. هدف این راهکار، ساماندهی، تکمیل و کاربردی‌سازی این دانش است. این موضوع از طریق راه‌اندازی پروژه‌های تحقیقاتی هدفمند تکمیلی برای پر کردن خلأهای دانشی خاص (مانند تأثیر تغییرات اقلیمی بر کارایی یک پارازیتوئید خاص) و مهم‌تر از آن، ایجاد یک بانک اطلاعاتی یکپارچه دشمنان طبیعی

بیولوژیک است. در شرایط فعلی که اغلب داده‌های پایه‌ای دقیق و پیوسته درباره نوسانهای جمعیت آفات کلیدی و دشمنان طبیعی آنها در اکوسیستم‌های جنگلی ایران وجود ندارد، هرگونه تصمیم‌گیری مدیریتی می‌تواند فاقد پشتوانه علمی کافی باشد. این سیستم، برخلاف رویکردهای پیچیده و پرهزینه، با بهره‌گیری از روش‌های استاندارد و کم‌هزینه (مانند بازدیدهای دوره‌ای مشخص برای شمارش تخم، لارو یا خسارت آفت و ثبت مشاهدات اولیه از حشرات مفید) در کانون‌های بحرانی و محدوده‌های مشخص انجام می‌شود. این راهکار یک اقدام فوری و امکان‌پذیر است که خروجی آن، آگاهی عملیاتی را افزایش داده و ریسک تصمیم‌گیری‌های بعدی را به شدت کاهش می‌دهد.

تدوین چارچوب و استانداردهای ملی برای اولویت‌بندی و اجرای کنترل بیولوژیک: این راهکار به‌عنوان یک پیش‌نیاز کلیدی، پایه قانونی و فنی را برای تمامی اقدامات آینده فراهم می‌سازد. هدف اصلی، ایجاد یک اولویت‌بندی روشن برای اقدام است که بر پایه اصول اکولوژیک و ارزیابی ریسک استوار باشد. در این چارچوب، حفاظت و تقویت دشمنان طبیعی بومی به عنوان اولین و مهمترین گزینه در نظر گرفته می‌شود. وجود این چارچوب، از اتلاف منابع در روش‌های پرریسک جلوگیری کرده و سرمایه‌گذاری‌ها را به سمت پایدارترین و ایمن‌ترین راه‌حل‌ها هدایت می‌کند.

همچنین ارائه دستورالعمل استاندارد و شفاف برای رهاسازی، پایش و ارزیابی عوامل کنترل بیولوژیک توسط سازمان‌های متولی الزامیست. این استانداردها باید شامل معیارهای انتخاب عوامل بیولوژیک، تراکم و زمان بهینه رهاسازی، روش‌های پایش اثربخشی و مدیریت ریسک‌های اکولوژیک باشد.

توانمندسازی نیروی انسانی و توسعه دانش فنی: آموزش و توانمندسازی کارشناسان و جنگل‌بانان در زمینه اصول و روش‌های کنترل بیولوژیک ضروریست. برگزاری دوره‌های آموزشی تخصصی، کارگاه‌های عملی و تهیه نشریات فنی به زبان ساده می‌تواند سطح دانش فنی را ارتقاء دهد. همچنین، ایجاد کمیته‌های تخصصی متشکل از متخصصان جنگل،

جنگل‌های ایران محقق می‌شود.

افزایش آگاهی عمومی و جلب مشارکت جوامع محلی: بسیاری از جوامع محلی و حتی مسئولان محلی از مزایای کنترل بیولوژیک آگاهی ندارند و ممکن است با اجرای این روش‌ها مخالفت کنند. برگزاری کارگاه‌های آموزشی و کمپین‌های ترویجی برای ساکنان مناطق جنگلی و مشارکت دادن مردم محلی در برنامه‌های پایش و اجرا، تولید محتوای آموزشی جذاب (مستند، گزارش‌های تصویری، شبکه‌های اجتماعی) و موفقیت‌های داخلی و بین‌المللی در کنترل بیولوژیک می‌تواند زمینه‌ساز پذیرش گسترده این روش شود.

۳- اقدامات توسعه‌ای (افق آینده)

گذار از پایش سنتی به توسعه سامانه ملی هوشمند: این سامانه پیشرفته با بهره‌گیری از فناوری‌های نوینی مانند سنجش از دور و تحلیل داده‌های کلان، امکان پایش بلندمدت، خودکار و دقیق را در مقیاس وسیع فراهم می‌کند. چنین سامانه‌ای نه تنها شاخص‌های کلیدی کمی (مانند نوسانهای جمعیت آفت و عامل کنترل‌کننده) را ردیابی می‌کند، بلکه با تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های کیفی سلامت توده‌های جنگلی و تنوع زیستی را نیز پایش می‌نماید. خروجی این سامانه، داده‌های معتبری است که به مدیران برای ارزیابی دقیق اثربخشی برنامه‌ها، تخصیص بهینه منابع و اخذ تصمیم‌های مبتنی بر شواهد قوی یاری می‌رساند و ارزیابی را از حالت ذهنی و پراکنده خارج می‌سازد.

طراحی یک مدل مدیریتی و مالی پایدار: این راهکار کمک می‌کند تا کنترل بیولوژیک از حالت پروژه‌های موقت و ناپایدار خارج شود. تأمین مالی پایدار از طریق ایجاد سازوکارهای نوین اقتصادی امکان‌پذیر می‌شود. یکی از مؤثرترین این سازوکارها، نظام پرداخت برای خدمات اکوسیستمی است. بر این اساس، صنایع و نهادهای بهره‌بردار از خدمات غیرمستقیم جنگل، در حفظ این خدمات مشارکت مالی خواهند داشت. همچنین می‌توان درصدی از درآمدهای حاصل از بهره‌برداری‌های مجاز و پایدار از جنگل را به صندوق ملی حفاظت و احیای جنگل‌ها واریز کرد. این

صندوق به صورت شفاف مدیریت شده و منابع آن فقط به پروژه‌های کنترل بیولوژیک و حفاظت از زیستگاه‌ها اختصاص می‌یابد.

تبدیل دانش به فناوری و دستیابی به توانمندی‌های راهبردی: سرمایه‌گذاری هدفمند برای بومی‌سازی فناوری‌های نوین تولید انبوه، نگهداری و رهاسازی عوامل بیولوژیک ضروریست. تمرکز بر توسعه روش‌هایی سازگار با شرایط اکولوژیک و توپوگرافی کشور، مانند طراحی و ساخت سامانه‌های پهاد-پایه برای رهاسازی دقیق و یکنواخت در عرصه‌های صعب‌العبور جنگلی، یک اولویت راهبردی محسوب می‌شود. موفقیت در این عرصه مستلزم همکاری میان‌رشته‌ای نزدیک بین متخصصان علوم زیستی (حشره‌شناسی، بیماری‌شناسی) و مهندسی (هوافضا و فناوری اطلاعات) است.

تقویت همکاری‌های بین‌المللی هدفمند با رویکرد خودکفایی: به‌کارگیری هوشمندانه تجارب جهانی از طریق انعقاد تفاهم‌نامه‌های همکاری دوجانبه و چندجانبه با کشورهای پیشرو و سازمان‌های بین‌المللی (مانند فائو) تسریع‌کننده این مسیر است. شرط اساسی موفقیت این همکاری‌ها، طراحی آنها با محوریت انتقال فناوری و توانمندسازی داخلی است. این مشارکت‌ها باید به گونه‌ای برنامه‌ریزی شوند که به‌جای وابستگی دائم، موجبات خودکفایی در دانش، فناوری و مدیریت را فراهم نمایند. مدل‌های موفق می‌تواند شامل مشارکت در پروژه‌های تحقیقاتی مشترک، دوره‌های کارآموزی تخصصی و تبادل پژوهشگر باشد. با برنامه‌ریزی دقیق و انتخاب شرکای مناسب، می‌توان از این همکاری‌ها به عنوان اهرمی قدرتمند برای ارتقای سطح علمی و عملیاتی کنترل بیولوژیک در کشور استفاده کرد. این مسیر اگرچه ممکن است با چالش‌هایی همراه باشد، اما بدون شک نتایج ارزشمندی برای حفظ و صیانت از عرصه‌های طبیعی کشور به همراه خواهد داشت.

موفقیت در اجرای راهکارهای توسعه کنترل بیولوژیک در جنگل‌های ایران، نیازمند در نظر گرفتن همزمان فرصت‌ها و ریسک‌های هر مرحله است. در بخش زیرساختی، ریسک

برای نهاده‌سازی موفق این روش، نیازمند یک برنامه ملی هستیم که محورهای اصلی آن، تدوین سند راهبردی ملی کنترل بیولوژیک آفات جنگلی با همکاری تمامی نهادهای ذی‌ربط، سرمایه‌گذاری مستمر بر پژوهش‌های پایه‌ای و کاربردی ایجاد بانک‌های اطلاعاتی جامع و تدوین دستورالعمل‌های استاندارد ملی، افزایش آگاهی و جلب مشارکت، بهبود مدیریت عرصه‌های جنگلی، توسعه همکاری‌های بین‌المللی و بومی‌سازی فناوری می‌باشد.

در پایان باید تأکید کرد که موفقیت کنترل بیولوژیک تنها در پرتو نگرشی یکپارچه به جنگل و اراده‌ای مصمم برای همسو کردن مدیریت آن با اصول بوم‌شناختی میسر خواهد شد. به عبارت دیگر، حفاظت از جنگل‌های ایران تنها با اتکا به روش‌های سریع‌الاث‌ر و مخرب ممکن نیست؛ بلکه نیازمند درک عمیق از پیچیدگی‌های این اکوسیستم‌ها است.

بررسی تجربیات جهانی در توسعه کنترل بیولوژیک جنگل، چارچوب ارزشمندی برای تحلیل چالش‌ها و ارزیابی راهکارهای پیشنهادی در ایران فراهم می‌آورد. مقایسه تطبیقی نشان می‌دهد که بسیاری از موانع ساختاری و اکولوژیک شناسایی شده در ایران، منحصربه‌فرد نبوده و در سایر کشورها نیز با راهبردهای مشخصی برطرف شده‌اند. تجربه کشورهایی مانند چین، به عنوان یکی از پیشروترین‌ها در این عرصه، نشان می‌دهد که موفقیت مستلزم سرمایه‌گذاری بلندمدت و متمرکز در پژوهش‌های بوم‌محور است. این کشورها با ایجاد زیرساخت‌های گسترده برای شناسایی، کلکسیون‌سازی و مطالعه اکولوژیک دشمنان طبیعی بومی، موفق به ایجاد بانک‌های اطلاعاتی غنی و در نهایت تبدیل این دانش به فناوری تولید انبوه عوامل کنترل بیولوژیک اختصاصی شده‌اند (Wang et al., 2014). همچنین، فناوری‌های نوینی مانند سنجش از دور و سامانه‌های پهپاد-پایه برای پایش، شناسایی زود هنگام کانون‌های استرس و ارزیابی اثرهای مداخلات مدیریتی در سطح جهانی به کار گرفته می‌شوند. برای نمونه، Rullan-Silva و همکاران (۲۰۱۳) در مروری جامع بر کاربرد سنجش از دور در پایش از حشرات جنگلی نشان دادند که این فناوری‌ها امکان تشخیص تغییرات در سلامت و

اصلی، طولانی شدن فرایندها یا غیرکاربردی شدن استانداردها و همچنین کمبود انگیزه در نیروهای اجرایی است. در بخش راهبردی، چالش عمده تغییر نگرش ذینفعان و ساماندهی دانش پراکنده است که مستلزم اثبات عملی موفقیت‌ها در عرصه و ایجاد سازوکارهای شفاف برای تسهیم اطلاعات می‌باشد. در بخش توسعه فناوریانه نیز وابستگی به فناوری خارجی، دشواری تأمین مالی پایدار و خطر عدم انتقال واقعی دانش در همکاری‌های بین‌المللی، تهدیدهای اصلی به شمار می‌روند. غلبه بر این چالش‌ها مستلزم عزمی ملی، برنامه‌ریزی گام‌به‌گام، نظارت مستمر و تطبیق‌پذیری در مواجهه با موانع غیرمنتظره است. بنابراین، موفقیت نهایی در گرو نگاهی واقع‌بینانه است که ضمن ترسیم چشم‌انداز بلندمدت، محدودیت‌ها و ریسک‌های عملیاتی هر اقدام را به دقت ارزیابی و مدیریت کند.

این بررسی نشان می‌دهد که موانع توسعه کنترل بیولوژیک در عرصه‌های جنگلی ایران، بسیار فراتر از چالش‌های فنی ساده است. کلید غلبه بر این چالش‌ها، در تغییر نگرش اساسی از «مدیریت بحران‌محور و مقابله‌ای» به «مدیریت اکوسیستم‌محور و پیشگیرانه» نهفته است. در این پارادایم جدید، هدف اصلی، نه فقط رهاسازی عوامل بیولوژیک برای از بین بردن یک آفت خاص، بلکه تقویت تاب‌آوری اکوسیستم جنگل است. در این راستا، مهمترین راهبرد، تغییر تمرکز از رهاسازی عوامل بیولوژیک غیربومی به سمت حفاظت، حمایت و تقویت جمعیت دشمنان طبیعی بومی است. این راهبرد دارای مزایای متعددی از جمله ایمنی اکولوژیک، پایداری (به دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی و اکولوژیکی منطقه) و اقتصادی (به دلیل حذف هزینه‌های بالای تولید انبوه، رهاسازی) است (Waage & Greathead, 1988).

کنترل بیولوژیک در جنگل‌های ایران، با وجود تمامی چالش‌های پیش‌رو، نه یک انتخاب، بلکه یک ضرورت اجتناب‌ناپذیر برای حرکت به سمت مدیریت پایدار و حفظ این اکوسیستم‌های باارزش است. این روش، تنها راهکاری است که می‌تواند همزمان با کنترل آفات، سلامت بلندمدت جنگل، تنوع زیستی و عملکردهای حیاتی آن را تضمین کند.

فناوری‌های نوین با شرایط خاص هر اکوسیستم است. راهکارهای ارائه‌شده در این مقاله برای ایران به وضوح با روندها و مؤلفه‌های موفقیت در تجربیات بین‌المللی همسو است. تلفیق این اصول جهانی با واقعیت‌های بوم‌شناختی، اجتماعی و اقتصادی ایران، می‌تواند مسیر توسعه کنترل بیولوژیک را در جنگل‌های کشور هموارتر سازد.

ساختار تاج پوشش جنگل، برآورد وسعت خسارت و پایش روند بهبودی را فراهم می‌کنند. این قابلیت‌ها، اساس تحول از پایش سنتی به سامانه‌های پایش هوشمند ملی را تشکیل می‌دهد.

درس کلیدی حاصل از این تجربیات آن است که موفقیت پایدار کنترل بیولوژیک در جنگل‌ها، مستلزم ترکیبی از تعهد بلندمدت سیاستی، توسعه دانش بوم‌شناختی محلی و تطبیق

References

- Alinejad, M., Zamani, S., Farahani, S. and Gholami, R., 2025. Efficacy of indigenous entomopathogenic fungi isolates in controlling the oak moth (*Porthesia melania* Stgr. (Lepidoptera: Lymantriidae)). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 32(4): 355-372 (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijfpr.2024.365471.2158>
- Ashtari, S., 2023. A Review on the side effects of pesticides and how to evaluate these effects on *Trichogramma* in Iran. BioControl in Plant Protection, 2023, 10(2): 9-30. <https://doi.org/10.22092/bcpp.2023.362917.339>
- Farahani, S. and Rajabi Mazhar, A., 2020. Selection and Release of Natural Enemies of Pests in Forests; Risks and Successful Control. Journal of Biosafety, 12(4): 25-36 (In Persian).
- Farahani, S., Farashiani, M.E., Kazerani, F., Kouhjeni-Gorji, M., Khaleghi Trujeni, S.N., 2023. A Review of biology of Box tree moth in forests of northern Iran. Iran Nature, 7(6): 39-46 (In Persian). <https://doi.org/10.22092/irn.2023.357060.1433>
- Farahani, S. and Kouhjeni Gorji, M. 2025., Strategies to Support Natural Enemies of Pests in Forests and Rangelands under Climate Change Conditions. Forest and Rangeland Research Institute of Iran - Technical Publications, 29 pp (In Persian).
- Farashiani, M.E., Varandi, H.B., Kazerani, F., Yarmand, H., Babaee, M., Thorn, S., Lange, F., Rafiei-Jahed, R., Müller, J. and Amini, S., 2022. A preliminary checklist of saproxylic beetles (Coleoptera) in the Hyrcanian forests of Iran, with distributional data. Check List, 18(5): 1053-1120. <https://doi.org/10.15560/18.5.1053>
- Farashiani, M.E., Ghanaie, S., Kazerani, F., Naji, H.R., Askari, H., Yarmand, H., Farrar, N., Rajabi Mazhar, A.R., Hamzehzarghani, H., Shafaii, F., Zarghani, E., Tavakoli, M., Golestaneh, S.R., Farahani, S., Koohjani Gorgi, M., Sadeghi, S.M., Alavi, J., Pordel, A., Achak, Y., Hashemi Khabir, Z., Hanifeh, S., Baradaran, G.R., Sarani, M., Dezyanian, A., Zarnegar, A., Niknam, M., Mohammadpour, P., Taghizadeh, M., Yahoeiyan, S. H., Alinezhad, M. and Motamedi, J., 2023. An Introduction to the Sustainable Protection of Iran's Natural Environments: Challenges and Strategies. Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 8(1): 85-102 (In Persian). <https://doi.org/10.22047/srjasnr.2023.171633>
- Gholami Ghavamabad, R., Talebi, A.A., Pedram, M., Farashiani, M.E. and Mehrabadi, M., 2024. Efficacy of entomopathogenic nematodes against *Cydalima perspectalis* and *Hyphantria cunea* (Lepidoptera), two invasive forest pests in Iran. International Journal of Pest Management, 1-15. <https://doi.org/10.1080/09670874.2024.2372312>
- Gossner, M.M., Lewinsohn, T.M., Kahl, T., Grassein, F., Boch, S., Prati, D., Birkhofer, K., Renner, S.C., Sikorski, J., Wubet, T., Arndt, H., Baumgartner, V., Blaser, S., Blüthgen, N., Börschig, C., Buscot, F., Diekötter, T., Jorge, L.R., Jung, K., Keyel, A.C., Klein, A.M., Klemmer, S., Krauss, J., Lange, M., Müller, J., Overmann, J., Pašalić, E., Penone, C., Perović, D.J., Purschke, O., Schall, P., Socher, S.A., Sonnemann, I., Tschapka, M., Tscharntke, T., Türke, M., Venter, P.C., Weiner, C.N., Werner, M., Wolters, V., Wurst, S., Westphal, C., Fischer, M., Weisser, W.W., Allan, E., 2016. Land-use intensification causes multitrophic homogenization of grassland communities. Nature, 540: 266-269. <https://doi.org/10.1038/nature20575>
- Howarth, F.G., 1991. Environmental impacts of classical biological control. Annual Review of Entomology, 36: 485-509.
- Khoshzahr, H., Varasteh Moradi, H. and Salmanmahini, A., 2016. The impact of snags and logs on the bird community in the non-breeding season in Golestan National Park. Advanced Environmental Sciences, 14(2): 69-78 (In Persian).
- Lindenmayer, D.B., and Franklin, J.F. 2002. Conserving Forest Biodiversity: A Comprehensive Multiscaled Approach. Island Press.
- Neary, D.G., Ice, G.G., and Jackson, C.R., 2009. Linkages between forest soils and water quality and quantity. Forest Ecology and Management, 258(10):

2269-2281.

- Rullan-Silva, C.D., Olthoff, A.E., Delgado de la Mata, J.A. and Pajares-Alonso, J.A., 2013. Remote sensing of forest insect disturbances: Current state and future directions. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 23: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.10.001>
- Vacante, V., and Bonsignore, C.P., 2017. Natural enemies and pest control. In: Vacante, V. and Kreiter, S. (Eds.), *Handbook of pest management in organic farming* (pp. 60-77). CAB International.
- Waage, J.K. and Greathead, D.J., 1988. Biological control: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 318(1189): 111-128. <https://doi.org/10.1098/rstb.1988.0001>
- Wang, Z.Y., He, K.L., Zhang, F., Lu, X. and Babendreier, D., 2014. Biological control in China: Past, present and future. In *Biological Control of Insect Pests in China: Past, Present and Future* (pp. 1-28). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press.
- Zalucki, M.P., Furlong, M.J., Schellhorn, N.A., Macfadyen, S. and Davies, A.P., 2015. Assessing the impact of natural enemies in agroecosystems: toward 'real' IPM or in quest of the Holy Grail? *Insect Science*,

22(1): 1-5.

- Zarghani, E., Farashiani, M.E. and Amini, S., 2022. Different methods of monitoring pests and diseases in forests and rangelands. *Iran Nature*, 7(1): 33-44 (In Persian). <https://doi.org/10.22092/irn.2022.354539.1361>
- Zamani, S.M., Farahani, S., Farashiani, M.E., Salehi, M., Samavat, S., 2018. The first record of *Beauveria bassiana* on box tree moth, *Cydalima perspectalis* in Iran. *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, 15(2): 199-202 (In Persian). <https://doi.org/10.22092/ijfrpr.2018.115710>
- Zamani, S.M., Gholami Gavamabad, R., Kazerani, F., 2023. Efficacy of indigenous isolates of entomopathogenic fungi, *Beauveria bassiana* against the box tree moth, *Cydalima perspectalis*, invasive pest in Iranian forests. *Bulletin of Insectology*, 76(1): 117-125.
- Zamani, S.M., Alinejad, M., Askary, H., Gholami Gavamabad, R., Sepasi, N., Farahani, S., Ahangaran, Y., 2025. Field performance of trunk-applied entomopathogenic fungi for management of the oak moth, *Leucoma wiltshirei* (Lepidoptera: Erebididae) during a two-year study. *Journal of Entomological Society of Iran*, 45(4): 663-678 (In Persian). <https://doi.org/doi:10.22034/jesi.45.4.14>