



بررسی منافع محیط زیستی و اقتصادی مدیریت تلفیقی آفات (IPM)

بهاره رفیعی^۱، فاطمه معززی^۲

۱. بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران
۲. بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مروری	در سال‌های اخیر، اهمیت توسعه و اجرای برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات (IPM) به دلیل چالش‌های محیط زیستی ناشی از مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی افزایش یافته است. IPM به عنوان یک رویکرد جامع و پایدار، با ترکیب روش‌های زیستی، مکانیکی، زراعی و شیمیایی، سبب کاهش وابستگی به آفت‌کش‌های شیمیایی و حفظ تعادل بوم‌شناختی می‌شود. منافع اقتصادی و محیط زیستی مدیریت تلفیقی آفات قابل توجه است. از مهم‌ترین مزایای این روش می‌توان به کاهش هزینه‌های تولید، افزایش کیفیت و بازدهی محصولات، امنیت غذایی، کاهش آلودگی منابع طبیعی، حفظ تنوع زیستی و افزایش ایمنی گونه‌های غیرهدف اشاره کرد. این مزایا را می‌توان به صورت ارزش اقتصادی بیان کرد و با محاسبه ارزش اقتصادی برنامه‌های IPM، گام‌های مؤثری برای شناسایی منافع و کاربرد وسیع‌تر آن‌ها برداشت. با وجود مزایای متعدد IPM، چالش‌هایی در مسیر اجرای این برنامه‌ها وجود دارد. کمبود آگاهی کشاورزان، زیرساخت‌های ناکافی و تمایل به استفاده از روش‌های سنتی از مهم‌ترین موانع هستند. برای غلبه بر این چالش‌ها، ارائه برنامه‌های آموزشی برای آگاهی از اهمیت IPM و سیاست‌های حمایتی ضروری است. این بررسی با ارائه شواهد علمی و داده‌های موردی، بر نقش و اهمیت مدیریت تلفیقی آفات، به عنوان ابزاری کارآمد برای کاهش پیامدهای منفی محیط زیستی مصرف آفت‌کش‌ها و ارزیابی عوامل و مدل‌های اقتصادی مؤثر بر منافع محیط زیستی در مسیر اجرای برنامه‌های IPM، تأکید دارد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۰۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۲۰	
دسترسی آنلاین: ۱۴۰۴/۰۴/۲۸	
کلیدواژه‌ها: مدیریت تلفیقی آفات (IPM)، آفت‌کش‌ها، کاهش آلودگی، بهره‌وری اقتصادی، محیط زیست	



Investigating the environmental benefits and economics of integrated pest management (IPM)

Bahareh Rafiei ^{1✉}, Fatemeh Moazzezi

1. Plant Protection Research Department, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran
2. Social and Extension Research Department, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

Article Info	Abstract
Article type: Review Article	In recent years, the importance of developing and implementing Integrated Pest Management (IPM) programs has grown due to increasing environmental concerns associated with the use of chemical pesticides. As a comprehensive and sustainable approach, IPM integrates biological, mechanical, agronomic, and chemical methods to reduce reliance on chemical pesticides and maintain ecological balance. The environmental and economic benefits of IPM are substantial. Key advantages include reduced production costs, improved crop quality and yield, enhanced food security, decreased contamination of natural resources, biodiversity conservation, and greater safety for non-target species. These benefits can be translated into economic value, and assessing the economic impact of IPM programs can support broader adoption and policy planning. Despite its numerous benefits, the implementation of IPM still faces challenges, including farmers' lack of awareness, inadequate infrastructure, and continued reliance on conventional practices. Addressing these issues requires comprehensive educational initiatives and supportive policy frameworks. This review highlights the critical role of IPM in mitigating the negative environmental impacts of pesticide use. It also examines the economic factors and models that influence the environmental outcomes of IPM implementation, drawing on scientific evidence and case studies.
Article history:	
Received: 2025/01/21	
Accepted: 2025/04/09	
Available online: 2025/07/18	
Keywords: Fluoride ions, Phosphate tank, Electrocoagulation, Industrial wastewater	

مقدمه

امروزه، مدیریت تلفیقی آفات (IPM) به عنوان یکی از رهیافت‌های کلیدی برای کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی، توجه پژوهشگران را در سراسر جهان به خود جلب کرده است. این رویکرد که شامل ترکیبی از روش‌های کنترل زیستی، شیمیایی، مکانیکی و زراعی است، با هدف کاهش استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی و اثرات نامطلوب آن بر محیط زیست به کار گرفته می‌شود (گلیسمن^۲، ۲۰۱۶). مدیریت تلفیقی آفات، رشد محصول سالم را با کمترین اختلال در اکوسیستم‌ها ترویج می‌کند و مشوق به کارگیری مکانیسم‌های کنترل طبیعی آفات است. تحقیقات اخیر نشان داده است که IPM نه تنها می‌تواند مصرف آفت‌کش‌ها را کاهش دهد، بلکه با استفاده از روش‌های کنترل زیستی، کمک شایان توجهی به منظور حفظ تعادل بوم شناختی می‌کند (دیگوین^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). این رویکرد به دلیل حفظ منابع طبیعی، ارتقا سلامت جامعه و بهبود وضعیت اقتصادی در راستای کشاورزی پایدار اهمیت بسیاری دارد. در مقابل رشد نگرانی‌ها درباره اثرات منفی آفت‌کش‌ها بر اکوسیستم‌ها و تهدید گونه‌های غیر هدف وجود دارد که ضرورت توجه به IPM را دوچندان کرده است (پرتی و باروچا^۴، ۲۰۱۵؛ حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹). آفت‌کش‌ها، اگرچه در کوتاه‌مدت کارایی قابل توجهی در کنترل آفات دارند، اما مصرف مداوم و بی‌رویه آن‌ها منجر به مشکلات متعددی همچون مقاومت آفات، کاهش تنوع زیستی، آلودگی آب‌های زیرزمینی و تخریب ساختار خاک می‌شود. یکی از مهم‌ترین مزایای مدیریت تلفیقی آفات کاهش وابستگی به آفت‌کش‌های شیمیایی است (پیمنتل و پیمنتل^۵، ۱۹۹۲).

اجرای استراتژی‌های مدیریت تلفیقی آفات، تأثیرات اقتصادی چشمگیری دارد. کشاورزان با کاهش هزینه‌های مرتبط با خرید آفت‌کش‌ها و بهبود کیفیت محصولات خود، سود بیشتری به دست می‌آورند. به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، که بخش عمده‌ای از اقتصاد آن‌ها بر کشاورزی متکی است، اجرای مدیریت تلفیقی آفات می‌تواند در جهت کاهش فقر، افزایش امنیت غذایی و بهبود پایداری اقتصادی کمک کند (بومارکو^۶ و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین، سبب کاهش آلودگی منابع طبیعی و زنجیره‌ی غذایی، حفظ گونه‌های مفید مانند گرده‌افشان‌ها و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. برای نمونه، مطالعه‌ای که در سال ۲۰۲۳ در مزارع برنج هند انجام شد، نشان داد که استفاده از مدیریت تلفیقی آفات، سبب کاهش ۴۰ درصدی مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی و افزایش ۳۰ درصدی جمعیت حشرات مفید شد (راتناداس^۷، ۲۰۲۰). با وجود این، اجرای مدیریت تلفیقی آفات با چالش‌هایی مواجه است. عدم آگاهی کشاورزان، کمبود زیرساخت‌های حمایتی و مقاومت در برابر تغییر از جمله موانعی هستند که می‌توانند پذیرش و اجرای گسترده این رویکرد را محدود کنند. علاوه بر این، برخی از کشاورزان همچنان به استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی به عنوان راه‌کاری سریع‌تر و ساده‌تر برای کنترل آفات، تمایل دارند. بنابراین، ترویج مدیریت تلفیقی آفات نیازمند برنامه‌های آموزشی گسترده، حمایت‌های مالی و سیاست‌گذاری‌های مناسب است (پرتی و باروچا، ۲۰۱۵؛ جورس و همکاران، ۲۰۱۷).

هدف این مقاله بررسی جامع و دقیق منافع اقتصادی و محیط‌زیستی مدیریت تلفیقی آفات است. در این بررسی با ارایه تحلیل داده‌های به‌روز و مطالعات موردی از مناطق مختلف جهان، تلاش شده است تا تصویری روشن از تأثیرات مثبت این رویکرد نمایان شود. همچنین، به ارائه مدلهای و روشهای تحلیل اقتصادی منافع محیط زیستی برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات می‌پردازد. به علاوه چالش‌ها و ملاحظات مربوط به پذیرش و گسترش روش‌های مدیریت تلفیقی آفات را معرفی می‌کند. این مقاله به عنوان منبعی برای پژوهشگران، اهمیت و ضرورت مدیریت تلفیقی آفات را برای حفظ محیط‌زیست، دستیابی به توسعه پایدار و در نهایت آینده‌ای سبزتر برجسته می‌سازد.

¹ Integrated Pest Management (IPM)

² Gliessman

³ Deguine

⁴ Pretty & Bharucha

⁵ Pimentel & Pimentel

⁶ Bommarco

⁷ Ratnadass

مواد و روش‌ها

به منظور مطالعه‌ی منافع اقتصادی و محیط زیستی مدیریت تلفیقی آفات (IPM)، به بررسی عناوین و چکیده بیش از ۲۰۰ مقاله مرتبط منتشر شده در بانک‌های اطلاعاتی SID، IranDoc، Iranian Journals، Taylor & Francis، Elsevier، Pubmed، John Wiley & Sons، پرداخته شد و ۷۵ مقاله انتخاب شد و در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق از عبارات مدیریت تلفیقی آفات^۱، مزایای محیط زیستی^۲، IPM، مزایای اقتصادی^۳، IPM، کاهش مصرف آفت‌کش‌ها^۴، IPM و پایداری محیط زیستی^۵، تأثیر زیست‌محیطی^۶، IPM، حفاظت از تنوع زیستی^۷، IPM و حفاظت منابع آب^۸، IPM و سلامت اکوسیستم^۹، IPM و سلامت خاک^{۱۰}، IPM و حفاظت از گرده‌افشان^{۱۱}، IPM و کاهش تغییرات آب و هوا^{۱۲}، IPM و حفاظت گونه‌های غیر هدف^{۱۳}، IPM و مدیریت مقاومت به آفت‌کش‌ها^{۱۴} و روش‌های کنترل زیستی در^{۱۵} IPM جهت جستجو در بانک‌های اطلاعاتی استفاده شد. در نهایت با مقایسه و تفکیک مقالات، اطلاعات مربوط به تأثیر روش‌ها و استراتژی‌های مختلف مدیریت تلفیقی بر حفاظت از منابع محیط زیستی و اقتصادی مورد بررسی و استخراج شد.

یافته‌های پژوهش

تعاریف مدیریت تلفیقی آفات (IPM)

با گذشت سال‌ها همچنان مفهوم مدیریت تلفیقی آفات مورد بحث است و تعاریف مختلفی برای آن مطرح شده است که در این قسمت به آن‌ها می‌پردازیم. مدیریت تلفیقی آفات در واقع رویکردی جامع و پایدار است که هدف اصلی آن کاهش خسارات اقتصادی و محیط‌زیستی ناشی از آفات است و از دهه ۱۹۵۰ رواج یافته است. سازمان خواربار جهانی، مدیریت تلفیقی آفات را این‌گونه تعریف می‌کند: «درنظر گرفتن دقیق تمام تکنیک‌های موجود کنترل آفات و به‌کارگیری روش‌های مناسب با یکدیگر که مانع از توسعه جمعیت آفات شود و مصرف آفت‌کش‌ها و سایر مداخلات را در سطوحی نگه‌می‌دارد که توجیه اقتصادی و بوم‌شناختی داشته باشد و خطرات سلامت انسان و محیط زیست را کاهش دهد یا به حداقل برساند (الهر، ۲۰۰۶)». سازمان جهانی کنترل بیولوژیک^{۱۶} (IOBC) در سال ۱۹۷۳، مدیریت تلفیقی آفات را این‌گونه تعریف کرد: «سیستمی برای کنترل آفات است که از روش‌های مختلف استفاده می‌کند که با اولویت دادن به کنترل زیستی و رعایت آستانه تحمل، نیازهای اقتصادی، بوم‌شناختی و سم‌شناسی را برآورده می‌کند» (فرون^{۱۷}، ۱۹۹۹). در تعریفی دیگر مدیریت تلفیقی آفات، رویکردی پایدار برای حفاظت

^۱Integrated Pest Management

^۲Environmental benefits of IPM

^۳Economic benefits of IPM

^۴IPM and reduced pesticide use

^۵IPM and environmental sustainability

^۶Environmental impact of IPM

^۷IPM and biodiversity conservation

^۸IPM and water resources conservation

^۹IPM and ecosystem health

^{۱۰}IPM and soil conservation

^{۱۱}IPM and pollinator protection

^{۱۲}IPM and climate change mitigation

^{۱۳}IPM and non-target species protection

^{۱۴}IPM and pesticide resistance management

^{۱۵}Biological control methods in IPM

^{۱۶}Elher

^{۱۷}International Organization for Biological Control (IOBC)

^{۱۸}Ferron

از محصولات کشاورزی است که از یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای انتخاب تاکتیک‌های کنترل آفات استفاده می‌کند و آن‌ها را در یک استراتژی مدیریتی ادغام می‌کند و بر اساس تحلیل هزینه/فایده تأثیرات اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی را در نظر می‌گیرد (فرانکو، ۲۰۲۰). در تمام تعریف‌هایی که از مدیریت تلفیقی آفات وجود دارد سه جزء مشاهده می‌شود که شامل (۱) روش‌ها و تاکتیک‌های مختلف مانند مبارزه شیمیایی، دشمنان طبیعی و کشت ارقام مقاوم، (۲) نگهداری جمعیت آفت زیر سطح آستانه زیان اقتصادی و (۳) حفظ محیط زیست است (داسگپتا و همکاران، ۲۰۰۷).

اصول مدیریت تلفیقی آفات (IPM)

اصول مدیریت تلفیقی آفات بر پایه استفاده همزمان و متعادل از روش‌های زراعی، زیستی، مکانیکی و شیمیایی استوار است. این روش‌ها به گونه‌ای طراحی شده‌اند که با حداقل استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی، تعادل اکولوژیکی و پایداری کشاورزی حفظ شود. هدف مدیریت تلفیقی آفات نه تنها کنترل آفات بلکه پیشگیری از بروز مجدد آن‌ها و کاهش پیامدهای محیط زیستی استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی است (دیگوین و همکاران، ۲۰۲۱). چگونگی اجرای برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات در سیستم‌های ارگانیک دارای هشت اصل اساسی است که به کارگیری مناسب و فنی این اصول می‌تواند به عنوان فرصتی برای کاهش وابستگی به آفت‌کش‌ها مورد استفاده قرار گیرد (برزمن و همکاران، ۲۰۱۵؛ جوشی و همکاران، ۲۰۲۰؛ لطیفیان، ۱۳۹۶) که در ادامه تشریح مختصر این اصول به ترتیب آمده است.

اصل اول مدیریت تلفیقی آفات شامل پیشگیری و محدودسازی است. این اصل بر طراحی سیستم‌های کشت تأکید دارد تا شدت و فراوانی شیوع آفات کاهش یابد. هدف اصلی این است که از خسارت اقتصادی جلوگیری شود، نه اینکه آفات به طور کامل از بین بروند. اقداماتی مانند استفاده از اندام‌های تکثیری سالم (بذر و نهال)، کشت در بستر عاری از آفات و بیماری‌ها و انتخاب ارقام مقاوم به آفات از جمله روش‌های پیشگیرانه هستند. نظارت، اصل دوم مدیریت تلفیقی است. این اصل بر اهمیت پایش و ردیابی جمعیت آفات تأکید دارد تا تولیدکنندگان بتوانند به موقع و با دقت برای مدیریت آفت، تصمیم‌گیری کنند. نظارت شامل استفاده از روش‌های پیش‌بینی و ابزارهای مختلف مانند انواع تله‌ها نظیر تله‌ی نوری و فرمونی برای شناسایی زمان و شدت فعالیت آفت است. هدف این است که با جمع‌آوری اطلاعات دقیق، اقدامات کنترلی مؤثر و به موقع انجام شود، تا از خسارت اقتصادی جلوگیری گردد، همچنین با شناسایی زود هنگام و ارزیابی دقیق از جمعیت آفت، هزینه‌های کنترل را کاهش می‌دهد. تصمیم‌گیری، اصل سوم مدیریت تلفیقی آفات، است. این اصل بر اساس اطلاعات جمع‌آوری شده از نظارت بر آفات، کمک می‌کند تا بهترین روش‌های کنترل را انتخاب شود. تصمیم‌گیری مؤثر شامل استفاده از آستانه‌های زیان اقتصادی است، که مشخص می‌کند چه زمانی باید اقدام به کنترل آفت کرد، همچنین، ارزیابی وضعیت جمعیت آفات و خسارت‌های آن‌ها را در بر می‌گیرد. هدف این است که با توجه به شرایط خاص هر منطقه و نوع آفت، اقداماتی کارآمد و پایدار در کنترل آفات انجام شود. اصل چهارم، شامل روش‌های کنترل غیر شیمیایی است. این اصل بر اهمیت استفاده از روش‌های طبیعی و پایدار برای کنترل آفات تأکید دارد. روش‌های به غیر از به کارگیری آفت‌کش‌های شیمیایی شامل کنترل زیستی، کنترل زراعی، کنترل فیزیکی و رفتاری که به کاهش وابستگی به آفت‌کش‌ها کمک می‌کنند. حفظ و رهاسازی دشمنان طبیعی و به کارگیری تکنیک‌های زراعی نظیر شخم، هرس، آیش، انتخاب ارقام مقاوم به آفات و تناوب، استفاده از ویژگی‌های رفتاری آفات در شکار آن‌ها مانند به کارگیری تله‌های فرمونی و ترکیبات دورکننده از جمله استراتژی‌های مؤثر در این زمینه هستند. هدف از کنترل غیر شیمیایی این است که با حفظ تعادل اکوسیستم و کاهش اثرات منفی بر محیط زیست، کنترل مؤثری بر جمعیت آفات صورت گیرد. هنگامی که روش‌های پیشگیری و کنترل غیر شیمیایی جایگزین نتیجه‌ای رضایت‌بخش ارائه نکنند، استفاده از آفت‌کشهای انتخابی در حد رفع

^۱Franco

^۲Dasgupta

^۳Barzman

^۴Joshi

نیاز مجاز است. در این وضعیت، اصول ۵، ۶ و ۷ که پیش شرط استفاده از آفت کش ها می باشند باید مد نظر قرار گیرند. اصل پنجم، بر اهمیت انتخاب آفت کش های کم خطر و مؤثر تأکید دارد. هدف این است که در صورت نیاز به استفاده از آفت کش ها، گزینه هایی انتخاب شوند که کمترین تأثیر منفی را بر محیط زیست و موجودات غیرهدف داشته باشند. این انتخاب باید بر اساس اطلاعات دقیق از نوع آفت، مرحله زندگی آن و شرایط محیطی انجام شود. همچنین، انتخاب آفت کش ها با حفظ تناوب بین گروه های مختلف آفت کش های صورت گیرد که از بروز مقاومت آفات به آفت کش ها جلوگیری کند و به حفظ تعادل اکوسیستم کمک کند و آفت کش های زیستی در الویت قرار گیرند. اصل ششم مدیریت تلفیقی آفات شامل کاهش مصرف آفت کش ها است. این اصل بر اهمیت کاهش میزان (دز مصرفی) و دفعات استفاده از آفت کش ها تأکید دارد تا اثرات منفی آن ها بر محیط زیست و سلامت انسان به حداقل برسد. استفاده از روش های غیرشیمیایی و کاهش غلظت و کاربرد محدود آفت کش ها، از جمله استراتژی های مؤثر در این اصل هستند. این رویکرد به جلوگیری از بروز مقاومت در آفات کمک می کند. مدیریت صحیح زمان و شرایط استفاده از آفت کش ها نیز برای دستیابی به کنترل مؤثر ضروری است. اصل هفتم مدیریت تلفیقی آفات، شامل استراتژی جلوگیری از مقاومت آفات به آفت کش ها است. این اصل بر اهمیت پیشگیری از بروز مقاومت در جمعیت آفات نسبت به آفت کش ها تأکید دارد. استفاده مکرر از یک نوع آفت کش می تواند منجر به ظهور آفات مقاوم شود، بنابراین مهم است که تنها در صورت رسیدن جمعیت آفات به آستانه ی زیان اقتصادی از آفت کش ها استفاده شود. همچنین، ایجاد تناوب در استفاده از گروه های مختلف آفت کش ها، ترکیب آفت کش ها با نحوه اثر متفاوت و پایش مستمر وضعیت جمعیت آفات از جمله استراتژی های مؤثر برای جلوگیری از مقاومت است. این رویکردها به حفظ اثربخشی کنترل آفات و کاهش خطرات ناشی از استفاده بیش از حد از آفت کش های شیمیایی کمک می کند. ارزیابی، اصل هشتم مدیریت تلفیقی آفات است. این اصل بر اهمیت ارزیابی مداوم و سیستماتیک اقدامات انجام شده در طول فرآیند مدیریت آفات تأکید دارد. ارزیابی به تولیدکنندگان کمک می کند تا اثربخشی روش های کنترل را بررسی کرده و در صورت نیاز، تغییرات لازم را اعمال کنند. معیارهای ارزیابی باید شامل جنبه های اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی باشند. این ارزیابی ها باید به گونه ای طراحی شوند که بتوانند تأثیرات بلندمدت استراتژی های مدیریت تلفیقی آفات را شناسایی کنند و به کشاورزان کمک کنند تا تصمیمات بهتری برای آینده بگیرند. هدف نهایی، بهبود پایداری و کارایی سیستم های تولیدی است.

روند تکامل رویکرد مدیریت تلفیقی آفات

توسعه حفاظت از محصولات کشاورزی از پایان جنگ جهانی دوم در چند مرحله انجام شد. ابتدا، در اواخر دهه ی ۱۹۴۰ توسط حشره شناسان کالیفرنایی آغاز شد که مفهوم "کنترل نظارت شده" آفات محصولات کشاورزی را توسعه دادند. این اقدامات شامل نظارت بر سطوح جمعیت آفات در مزرعه برای اطلاع از انتخاب روش های حفاظت (عمدتاً شیمیایی) بود (اسمیت و اسمیت، ۱۹۴۹). دهه های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰، "عصر طلایی" آفت کش ها بود و کنترل شیمیایی آفات به عنوان یک معجزه دیده می شد (داس^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). استفاده بیش از حد از آفت کش ها در این دوران، منجر به فجایع اکولوژیکی و عدم امکان کنترل جمعیت آفات به دلیل افزایش مقاومت به آفت کش ها شد (ویل^۲، ۱۹۵۱). در این شرایط بحرانی، مدیریت تلفیقی آفات به عنوان یک استراتژی مناسب و توصیه شده برای حفاظت از محصولات کشاورزی مطرح شد. بنابراین تاریخچه مدیریت تلفیقی آفات به دهه ۱۹۵۰ میلادی برمی شود، زمانی که پیامدهای منفی استفاده گسترده از آفت کش های شیمیایی مانند ددت (DDT) در کشاورزی آشکار شد. گزارش های مرتبط با کاهش تنوع زیستی و ظهور مقاومت در آفات، دانشمندان را بر آن داشت تا رویکردی جدید برای مدیریت پایدار آفات توسعه دهند. در دهه ی ۱۹۶۰، راشل کارسون، با انتشار کتاب "بهار خاموش" زنگ خطر، مخاطرات محیط زیستی آفت کش ها را به صدا درآورد و سبب برانگیختن نگرانی عمومی و بحث های علمی در این زمینه شد. در دهه ۱۹۷۰، اصطلاح "مدیریت تلفیقی آفات" ابداع شد و محققان شروع به توسعه روش های جایگزین کنترل آفات کردند و در اروپا، FAO و

^۱ Smith & Smith

^۲ Das

^۳ Wille

IOBC مدیریت تلفیقی آفات را ترویج دادند (داس و همکاران، ۲۰۲۴). در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، IPM به عنوان یک راه‌کار عملی برای کاهش اثرات منفی آفت‌کش‌های شیمیایی شناخته شد. در اوایل دهه ۱۹۹۰، IOBC و گروه LEAF پیشنهاد کردند که اصول و اهداف IPM را، به ترتیب تحت عناوین کشاورزی تلفیقی و مدیریت تلفیقی محصولات کشاورزی گسترش دهند (لیک، ۲۰۰۰). این بدان معنی است که حفاظت از محصولات نباید از سایر اهداف مورد انتظار از اکوسیستم‌های کشاورزی جدا شود. در تولید تلفیقی، حفظ منابع (خاک، آب، انرژی و نیروی کار) با محدود کردن خسارت آفات و افزایش عملکرد زراعی (کمیت و کیفیت تولیدات کشاورزی) مرتبط است (دیگین و همکاران، ۲۰۲۱). از آن زمان تاکنون، این مفهوم به‌طور مداوم تکامل یافته است و با پیشرفت‌های تکنولوژی‌های نوین مانند حسگرهای زیستی و داده‌کاوی، به یک سیستم هوشمند و مبتنی بر داده تبدیل شده است (لنترن، ۲۰۱۲).

مزایای محیط زیستی مدیریت تلفیقی آفات (IPM)

مدیریت محیط زیست و تولید پایدار محصولات در کشاورزی با چندین مانع بالقوه مهم از جمله تغییرات آب و هوا، کاهش منابع و تخریب محیط زیست مواجه است. امروزه استفاده گسترده از مدیریت تلفیقی آفات، نتیجه نگرانی در مورد دوام طولانی مدت کشاورزی متعارف است. مدیریت تلفیقی آفت ضمن حفظ امنیت غذایی، حفظ اکوسیستم‌ها را نیز تضمین می‌کند (آنگون^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). و همان‌طور که در تعاریف و اصول مدیریت تلفیقی آفات، اشاره شد، این روش با تأکید بر کاهش استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی و جایگزینی آن‌ها با روش‌های دیگر نیاز به سمپاشی را به حداقل می‌رساند و نقش کلیدی در حفظ و بهبود سلامت محیط زیست دارد و با حفظ منابع طبیعی منجر به تعادل اکوسیستم‌ها می‌شود و اثرات منفی ناشی از کشاورزی صنعتی را کاهش می‌دهد (پاپ^۲ و همکاران، ۲۰۱۳). در ادامه، برخی از مهم‌ترین مزایای محیط زیستی IPM بررسی می‌شود.

کاهش آلودگی محیط زیست

استفاده بی‌رویه از آفت‌کش‌های شیمیایی یکی از مهم‌ترین عوامل و چالش‌های تخریب محیط زیست است که با ورود آلاینده‌های خطرناک به اکوسیستم‌های خاکی و آبی، تخریب زیستگاه‌های طبیعی، آلودگی زنجیره غذایی و تأثیرات منفی بر سلامت انسان می‌شود. در این بخش به نقش این آلاینده‌ها در محیط زیست و اثرات مثبت IPM در کاهش آلودگی منابع طبیعی، همچنین تجربیات موفق کشورهای مختلف و پیامدهای محیط زیستی این رویکرد پرداخته می‌شود.

یکی از اثرات مثبت IPM در کاهش آلودگی محیط زیست، کاهش تجمع مواد سمی در خاک است. تجمع آفت‌کش‌ها در خاک منجر به کاهش حاصل‌خیزی و تغییر ساختار میکروبی خاک می‌شود. تحقیقات نشان داده است که روش‌های زیستی مانند استفاده از دشمنان طبیعی آفات، جایگزینی مناسب برای کنترل آفات هستند که بدون تأثیر منفی بر کیفیت خاک عمل می‌کنند (برزمن و همکاران، ۲۰۱۵). حفظ تنوع زیستی موجودات خاکزی یکی دیگر از اثرات مثبت IPM در مبحث کاهش آلودگی خاک است. IPM با کاهش مصرف آفت‌کش‌ها، به حفظ گونه‌های مفید میکروبی و حشرات خاکزی کمک می‌کند. این امر تأثیر مثبتی بر عملکرد اکوسیستم‌های خاکی و بهبود قابلیت تجدیدپذیری خاک دارد (پاپ و همکاران، ۲۰۱۳؛ بگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۷).

کاهش ورود آفت‌کش‌ها به آب‌های سطحی و زیرزمینی و جلوگیری از انباشت آلاینده‌های پایدار در اکوسیستم‌های آبی از اثرات مثبت IPM در کاهش آلودگی آب هستند. در بسیاری از نقاط جهان، آب‌های زیرزمینی مهم‌ترین منبع آب آشامیدنی هستند و آفت‌کش‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین موارد آلوده‌کننده آب‌های زیرزمینی و سطحی مطرح است (ختری و تیاگی^۴، ۲۰۱۵).

¹ Linking Environment and Farming (LEAF)

² Leake

³ Lenteren

⁴ Angon

⁵ Popp

⁶ Begg

⁷ Khatri & Tyagi

درک سرنوشت آفت‌کش‌ها در محیط زیست برای به حداقل رساندن آلودگی آب‌های سطحی و زیر زمینی ناشی از آفت‌کش‌های ضروری است. تعیین این سرنوشت مستلزم مطالعه رفتار جذبی آن‌ها در خاک است که شامل پیوند بین آفت‌کش‌ها و ذرات خاک است. این امر بر قابلیت دسترسی زیستی، تجزیه، فراریت و شستشوی آفت‌کش‌ها تأثیر می‌گذارد. فرآیندهای مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی، تجزیه آفت‌کش‌ها را در خاک کنترل می‌کنند (ماتاوا و لیگی، ۲۰۰۶). برای محاسبه خطر آفت‌کش‌ها برای آب‌های زیرزمینی باید شاخص آبتشویی آفت‌کش در نظر گرفته شود که این شاخص به ضریب تقسیم آفت‌کش‌های بین خاک و آب بستگی دارد و آفت‌کش‌ها را بر اساس میزان خطر بالا، متوسط یا کم برای آب‌های زیرزمینی طبقه‌بندی می‌کند. سرعت نفوذ و رسیدن آفت‌کش‌ها به آب‌های زیرزمینی به ویژگی‌های لایه خاکی روی سفره آب، ساختار ملکولی آفت‌کش و مکانیسم‌های جذب خاک، بستگی دارد. استفاده بی‌رویه از آفت‌کش‌ها یا تغییرات آب و هوایی می‌تواند منجر به آلودگی غیرمنتظره آب‌های زیرزمینی شود (استفنز^۵ و همکاران، ۲۰۱۳). تعداد زیادی از آفت‌کش‌ها از طریق جذب شدن به ذرات خاک یا مواد آلی موجود در خاک پایدار می‌مانند، بعضی دیگر از راه هوا یا ذرات خاک وارد جریان آب شده و پخش می‌شوند و در نهایت بعضی هم توسط میکروارگانیسم‌ها، متابولیزه شده و با تبدیل شدن به مواد سمی تر وارد چرخه غذایی می‌شوند. در جاهایی که سطح سفره آب زیرزمینی بالا و بافت خاک سبک می‌باشد استفاده از آفت‌کش‌هایی که آبتشویی آنها زیاد و همچنین تحرک بالایی دارند، موجب آلودگی بیشتر سفره آب زیرزمینی می‌شود. هر چه میزان ماده‌ی آلی و رس خاک بیشتر باشد، میزان جذب غیریونی آفت‌کش‌ها در خاک بالا می‌رود و کمتر تحت تأثیر پدیده‌ی آبتشویی قرار می‌گیرند (سیافرودین^۶ و همکاران، ۲۰۲۱؛ تودی^۴ و همکاران، ۲۰۲۱).

آفت‌کش‌های شیمیایی اغلب از طریق رواناب به آب‌های سطحی و زیرزمینی نفوذ می‌کنند و منجر به آلودگی منابع آب می‌شوند. با کاهش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات، کیفیت آب برای مصارف مختلف (کشاورزی، آشامیدنی و...) حفظ می‌شود (پیمنتل^۵ و همکاران، ۱۹۹۲). میزان باقی‌مانده‌های آفت‌کش‌ها در آب‌های سطحی نسبت به آب‌های زیرزمینی بالاتر است، زیرا آن‌ها به عنوان مخازن برای رواناب سطحی از مزارع عمل می‌کنند (پرز-مندز^۷ و همکاران، ۲۰۲۰).

تجربیات موفق کشورهای دیگر نشان داد که برای مثال در ایالات متحده اجرای برنامه‌های IPM در مزارع ذرت، موجب کاهش ۶۰ درصدی آلودگی آب‌های سطحی به نیتروژن و فسفر شده است (شارما^۸ و همکاران، ۲۰۲۳). در چین اجرای IPM در مزارع گندم توانست میزان نیترات موجود در آب‌های زیرزمینی را تا ۳۰ درصد کاهش دهد. این امر نشان‌دهنده کاهش مصرف کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌های در این مزارع است (لی^۹ و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین، در مطالعه‌ای دیگر در چین اجرای IPM در مزارع گندم و برنج منجر به کاهش ۳۰ درصدی مصرف آفت‌کش‌ها و کاهش چشمگیر آلودگی آب‌های سطحی شده است. این کشور همچنین از فناوری‌های نوین برای نظارت بر آلودگی آب در مناطق کشاورزی استفاده می‌کند (پاپ و همکاران، ۲۰۱۳). در مزارع برنج هند، اجرای برنامه‌های IPM منجر به کاهش ۴۰ درصدی مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی و بهبود کیفیت آب‌های زیرزمینی شده است. این کاهش نه تنها آلودگی آب را کاهش داده، بلکه کیفیت محصولات کشاورزی را نیز بهبود بخشیده است (چاترجی^۹ و همکاران، ۲۰۲۱). هلند با اجرای سیاست‌های سخت‌گیرانه درباره استفاده از آفت‌کش‌ها، از IPM به عنوان رویکردی پیشرو استفاده می‌کند. نتایج این اقدامات شامل کاهش ۵۰ درصدی آلودگی منابع آبی به آفت‌کش‌های شیمیایی و بهبود شاخص‌های محیط زیستی بوده است (لنترن، ۲۰۱۲). بنابراین کاهش آلودگی خاک و آب یکی از مهم‌ترین دستاوردهای

¹ Mathava and Ligy

² Steffens

³ Syafrudin

⁴ Tudi

⁵ Pimentel

⁶ Pérez-Méndez

⁷ Sharma

⁸ Li

⁹ Chatterjee

زیست محیطی IPM است که می تواند به بهبود پایداری کشاورزی و حفظ منابع طبیعی کمک کند. با توجه به تجربیات موفق کشورهای مختلف، اجرای گسترده IPM و ترویج این روش در میان کشاورزان و سیاست گذاران ضروری به نظر می رسد.

حفظ تنوع زیستی

کاهش تنوع و فراوانی گونه ها یکی از اثرات جانبی مهم مصرف بی رویه آفت کش ها است. استفاده بی رویه از آفت کش های شیمیایی، آثار مخربی بر تنوع زیستی دارد و علاوه بر آفات، جمعیت گونه های مفید موجودات غیر هدف از جمله گرده افشان ها، پرندگان و شکارچیان طبیعی آفات، حشرات مفید، زنبورهای عسل، ماهی ها و سایر حیوانات و دیگر گونه های مفید را نیز تحت تأثیر قرار می دهند. کاهش جمعیت این گونه ها می تواند اثرات منفی گسترده ای بر اکوسیستم های کشاورزی و طبیعی داشته باشد. IPM با کاهش مصرف آفت کش های شیمیایی و جایگزینی آن ها با روش های زیستی و طبیعی، تعادل اکولوژیکی و محیطی پایدارتر برای حفظ گونه های مفید ایجاد می کند (رفیعی و کیومرثی، ۱۴۰۳؛ دستوکس^۱ و همکاران، ۲۰۰۷). اثرات نامطلوب آفت کش ها بر آبزیان با تهدید منابع غذایی آنها مانند پلنکتون ها و جلبک ها به صورت غیرمستقیم نمایان می شود. جایگزینی آفت کش های شیمیایی با روش های کنترل زیستی در IPM، خطر انباشت آلاینده های پایدار، تغلیظ زیستی، تجمع زیستی و بزرگ سازی آفت کش ها در زنجیره غذایی را کاهش می دهد (تیسون^۲ و همکاران، ۲۰۲۴).

جنبه های مختلف حفظ تنوع زیستی و جلوگیری از انقراض گونه های مفید شامل حفظ گرده افشان ها، افزایش جمعیت شکارچیان طبیعی آفات و حفظ میکروارگانیسم های خاک است (گلیسمن، ۲۰۱۶). گرده افشان ها مانند زنبور عسل، پروانه ها و پرندگان نقش اساسی در تولید محصولات کشاورزی دارند (پاتس^۳ و همکاران، ۲۰۱۰). کاهش جمعیت این گونه ها، که اغلب به دلیل تماس مستقیم یا غیرمستقیم با آفت کش های رخ می دهد، می تواند اثرات منفی بر بازدهی کشاورزی داشته (سانچز - بیو و ویکخوس^۴، ۲۰۱۹). تحقیقات در استرالیا نشان داده است که مزارعی که از IPM استفاده می کنند، جمعیت گرده افشان ها را تا ۳۵ درصد بیشتر نسبت به مزارع سنتی حفظ کرده اند (بلانش^۵ و همکاران، ۲۰۰۶). افزون بر آن، مطالعه ای در مزارع ذرت در برزیل نشان داد که استفاده از IPM باعث افزایش ۴۰ درصدی جمعیت زنبورهای گرده افشان و کاهش آسیب به تنوع زیستی محلی شده است (گاریبالدی^۶ و همکاران، ۲۰۱۴). شکارچیان طبیعی مانند کفشدوزک ها و عنکبوت ها، به طور مؤثری می توانند جمعیت آفات را کنترل کنند. در نظام های کشاورزی سنتی، این گونه ها به دلیل استفاده از آفت کش های شیمیایی کاهش می یابند. مطالعه ای در مزارع برنج اندونزی نشان داده است که استفاده از IPM موجب افزایش ۴۰ درصدی جمعیت شکارچیان طبیعی در مدت دو سال شده است (ستل^۷ و همکاران، ۱۹۹۶).

سلامت خاک یکی از اصول اساسی کشاورزی پایدار است. آفت کش های شیمیایی معمولاً ساختار میکروبی خاک را تغییر داده و تنوع زیستی آن را کاهش می دهند. IPM با استفاده از روش های کنترل مکانیکی و زیستی، میکروارگانیسم های خاک و تعادل اکولوژیکی خاک را حفظ کرده و باعث افزایش کارایی زیستی آن می شود (گلیسمن، ۲۰۱۶). در هند، پروژه ای با هدف کاهش استفاده از آفت کش های شیمیایی در کشت پنبه اجرا شد که بر اساس اصول IPM طراحی شده بود. این پروژه شامل آموزش کشاورزان برای استفاده از روش های کنترل زیستی، استفاده از دشمنان طبیعی آفات و به کارگیری تناوب زراعی بود. نتایج این پروژه نشان داد که مصرف آفت کش های شیمیایی تا ۵۰ درصد کاهش یافت و کیفیت خاک و تنوع زیستی منطقه بهبود یافت (شارما و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین در کشور کنیا، اجرای IPM در مزارع چای باعث کاهش ۶۰ درصدی مصرف آفت کش ها و بهبود سلامت اکوسیستم های محلی شد، به گونه ای که جمعیت پرندگان محلی افزایش یافت و آلودگی منابع آبی به شدت کاهش پیدا کرد (چاترجی و همکاران، ۲۰۲۱). تجربیات کشورهای دیگر نشان داد که در پروژه ای ملی در مزارع پنبه هند، اجرای IPM

¹ Desneux

² Tison

³ Potts

⁴ Sánchez-Bayo & Wyckhuys

⁵ Blanche

⁶ Garibaldi

⁷ Settle

باعث کاهش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی تا ۵۰ درصد شد و جمعیت گرده‌افشان‌ها و شکارچیان طبیعی به سطح اولیه بازگشت. این برنامه همچنین بهبود کیفیت خاک و کاهش هزینه‌های کشاورزی را به دنبال داشت (چاترجی و همکاران، ۲۰۲۱). در ایالت کالیفرنیا، برنامه‌ای برای اجرای IPM در باغ‌های مرکبات به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که استفاده از دشمنان طبیعی مانند زنبورهای پارازیتوئید توانست جمعیت آفات را بدون استفاده از آفت‌کش‌ها به سطح قابل قبولی کاهش دهد و به‌طور همزمان، جمعیت حشرات مفید حفظ شد (گلیسمن، ۲۰۱۶). در کشور کنیا، اجرای IPM در مزارع ذرت و حبوبات باعث افزایش ۳۰ درصدی جمعیت شکارچیان طبیعی آفات شد. این برنامه از روش‌های کنترل زیستی مانند استفاده از قارچ‌های آنتاگونیست بهره برد و نتایج مثبتی در کاهش آفات و حفظ تنوع زیستی ثبت کرد (پاتس و همکاران، ۲۰۱۰).

کاهش اثرات تغییرات اقلیمی

امروزه یکی از چالش‌های مهم جهانی تغییرات اقلیمی است. عوامل جوی و اقلیمی بر تجزیه و پراکندگی آفت‌کش‌های شیمیایی تأثیر می‌گذارند و ویژگی‌های خاک را تغییر می‌دهند. افزایش دما در نتیجه تغییرات اقلیمی منجر به کاهش محتوای مواد آلی در خاک می‌شود که در نتیجه آن ترک‌هایی در خاک ایجاد می‌شود. این امر به نوبه خود حرکت مواد شیمیایی آلی و غیرآلی و نفوذ آن‌ها به آب‌های زیرزمینی و سطحی را تسریع می‌کند (دلکور^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). از طرف دیگر، فعالیت‌های کشاورزی به عنوان یکی از عوامل مهم در بروز تغییرات اقلیمی به شمار می‌رود. امروزه، سازوکارهای مدیریت تلفیقی آفات به سمت تولید غذای سالم به روشی سازگار با محیط زیست آفات پیش می‌رود. مدیریت تلفیقی آفات (IPM) یکی از راهبردهای کلیدی برای کاهش تأثیرات منفی فعالیت‌های کشاورزی بر محیط زیست است. یکی از مزایای محیط زیستی این رویکرد کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) از طریق بهینه‌سازی مصرف نهاده‌های شیمیایی، کاهش نیاز به ماشین‌آلات کشاورزی، افزایش کارایی فرآیندهای زراعی، تقویت ذخیره‌سازی کربن در خاک و استفاده از روش‌های طبیعی‌تر است. فرآیند تولید، حمل‌ونقل، و استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی، مقادیر قابل توجهی از گازهای گلخانه‌ای را وارد جو می‌کند (رفیعی و همکاران، ۱۴۰۲؛ مهدویان و همکاران، ۲۰۲۴). استفاده گسترده از آفت‌کش‌های شیمیایی و کودهای نیتروژنه یکی از عوامل اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن (CO₂) و اکسید نیتروژن (N₂O) است. IPM با کاهش وابستگی به این نهاده‌ها از طریق جایگزینی آن‌ها با روش‌های زیستی و طبیعی، انتشار گازهای گلخانه‌ای را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (چاترجی و همکاران، ۲۰۲۱). روش‌های مکانیکی و فیزیکی که در مدیریت تلفیقی آفات استفاده می‌شوند، به کاهش وابستگی به ماشین‌آلات سنگین کشاورزی کمک می‌کنند. این امر منجر به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه کاهش انتشار دی‌اکسید کربن می‌شود (گلیسمن، ۲۰۱۶). مدیریت تلفیقی آفات با حفظ ساختار خاک و کاهش تخریب آن، به افزایش ظرفیت خاک برای جذب و ذخیره‌سازی کربن کمک می‌کند. روش‌هایی مانند کشت گیاهان پوششی و مدیریت بقایای زراعی از جمله رویکردهای مورد استفاده در IPM هستند که انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهند (پاپ و همکاران، ۲۰۱۳).

مطالعات انجام‌شده در اروپا نشان داده است که جایگزینی IPM با روش‌های سنتی کشاورزی باعث کاهش ۲۵ درصدی انتشار دی‌اکسید کربن در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی شده است (مولر^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). در هند، اجرای برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات در مزارع برنج منجر به کاهش ۲۵ درصدی مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی و ۱۵ درصدی مصرف سوخت‌های فسیلی شده است. این میزان کاهش‌ها توانسته‌اند حدود ۱،۲ میلیون تن از انتشار سالانه دی‌اکسید کربن معادل را در مناطق مورد مطالعه کمتر نمایند. (چاترجی و همکاران، ۲۰۲۱). در چین، مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از IPM در مزارع ذرت و گندم، انتشار گازهای گلخانه‌ای را تا ۲۰ درصد در مقایسه با روش‌های معمولی کاهش داده است. این دستاوردها نتیجه کاهش مصرف کودهای نیتروژنه و استفاده گسترده‌تر از کنترل زیستی بوده است (لیانگ^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). در ایالت کالیفرنیا، اجرای برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات در باغ‌های انگور و مزارع سبزیجات منجر به کاهش قابل توجهی در استفاده از ماشین‌آلات و بهینه‌سازی

¹ Delcour

² Müller

³ Liang

مصرف انرژی شده است. این تغییرات باعث کاهش انتشار سالانه حدود ۸۰۰ هزار تن دی‌اکسیدکربن معادل شده است (پرکینز، ۲۰۰۹). در آفریقای جنوبی، اجرای IPM در مزارع مرکبات به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق کاهش مصرف آفت‌کش‌ها و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر کمک کرده است. این برنامه‌ها علاوه بر کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن، باعث بهبود کیفیت خاک و افزایش تنوع زیستی نیز شده‌اند (پچنکا و همکاران، ۲۰۲۱). کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق اجرای مدیریت تلفیقی آفات، نه تنها به کاهش اثرات تغییرات اقلیمی کمک می‌کند، بلکه منجر به حفظ پایداری منابع محیط زیستی می‌شود. تجربیات کشورهای مختلف نشان‌دهنده پتانسیل بالای IPM در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ارتقای کشاورزی پایدار است. با این حال، برای بهره‌برداری کامل از این مزیت، نیاز به برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر، سرمایه‌گذاری‌های بیشتر، و ترویج آگاهی‌های محیط زیستی وجود دارد.

کاهش مقاومت آفات به آفت‌کش‌ها

استفاده مداوم و بی‌رویه از آفت‌کش‌ها می‌تواند منجر به ایجاد مقاومت در آفات شود و اثربخشی آن آفت‌کش‌ها را در طول زمان کاهش دهد. آفت‌کش‌ها، سبب حذف افراد با ژنوتیپ حساس و سلطه گونه‌های مقاوم می‌شوند (رفیعی و کیومرثی، ۱۴۰۳). IPM با استفاده از روش‌های متنوع کنترلی و به کارگیری اصولی و تناوب مصرف آفت‌کش‌ها، از ایجاد مقاومت جلوگیری می‌کند و اثربخشی روش‌های کنترلی را در بلندمدت حفظ می‌کند (دنهولم و دیواین، ۲۰۱۳).

مزایای اقتصادی مدیریت تلفیقی آفات (IPM)

مدیریت تلفیقی آفات (IPM) به‌عنوان رویکردی جامع در کنترل آفات، منافع اقتصادی متعددی را برای کشاورزان و جوامع کشاورزی فراهم می‌کند. این مزایا نه تنها به کاهش هزینه‌های مستقیم کشاورزی در کوتاه مدت منجر می‌شود، بلکه زمینه‌ساز پایداری اقتصادی در بلندمدت است. در ادامه، این مزایا به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کاهش هزینه‌های تولید

یکی از مهم‌ترین مزایای اقتصادی مدیریت تلفیقی آفات (IPM)، کاهش چشمگیر هزینه‌های تولید کشاورزی است که به دلیل کاهش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی، بهینه‌سازی استفاده از منابع، و بهره‌گیری از روش‌های کم‌هزینه‌تر حاصل می‌شود (پرتی و باروچا، ۲۰۱۵). با جایگزینی روش‌های زیستی و مکانیکی به‌جای استفاده مداوم از آفت‌کش‌های شیمیایی، کشاورزان می‌توانند هزینه‌های مربوط به خرید آفت‌کش‌ها، تجهیزات کاربردی، و نیروی انسانی مورد نیاز برای استفاده از این آفت‌کش‌ها را کاهش دهند (پیمنتل و پیمنتل، ۱۹۹۲). این ویژگی، IPM را به یک گزینه جذاب برای کشاورزان در سراسر جهان تبدیل کرده است. مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی معمولاً از جمله هزینه‌های بالای تولید در کشاورزی محسوب می‌شوند. در سیستم IPM، استفاده از آفت‌کش‌ها تنها به‌عنوان آخرین گزینه و به‌طور هدفمند صورت می‌گیرد. این کاهش مصرف، علاوه بر کاهش هزینه‌های مستقیم، موجب کاهش هزینه‌های جانبی مانند حمل‌ونقل، ذخیره‌سازی، و مدیریت پسماند آفت‌کش‌ها نیز می‌شود. به‌عنوان مثال، در یک مطالعه انجام‌شده در مزارع برنج در ویتنام، نتایج اجرای IPM، کاهش ۳۰ درصدی هزینه‌های مرتبط با آفت‌کش‌ها را نشان داده است و این در حالی است که بازدهی محصول حفظ شده و یا حتی افزایش یافته است (نگوین، ۲۰۱۸).

روش‌های مکانیکی و زیستی مورد استفاده در IPM، مانند نصب تله‌های حشرات یا استفاده از دشمنان طبیعی آفات، به‌طور کلی به نیروی کار کمتری نسبت به کاربردهای مکرر آفت‌کش‌ها نیاز دارند (گلیسمن، ۲۰۱۶). همچنین، این روش‌ها معمولاً انرژی کمتری مصرف می‌کنند، که به‌ویژه در مناطقی که هزینه انرژی بالاست، صرفه‌جویی اقتصادی قابل‌توجهی به همراه دارد.

¹ Perkins

² Pecenka

³ Denholm & Devine

⁴ Nguyen

(پرتی^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). محصولات تولیدشده با روش‌های IPM به دلیل کاهش باقیمانده‌های آفت‌کش‌های شیمیایی، از کیفیت بالاتری برخوردارند و معمولاً در بازارهای محلی و بین‌المللی با قیمت بالاتری به فروش می‌رسند (پشین^۲ و همکاران، ۲۰۰۹). به‌عنوان مثال، در هند، کشاورزانی که از IPM در تولید گوجه‌فرنگی استفاده کردند، با افزایش کیفیت محصول توانستند درآمد خود را تا ۲۰ درصد افزایش دهند (دپن‌باش^۳ و همکاران، ۲۰۲۳). در چین، اجرای گسترده IPM در مزارع پنبه به کاهش ۵۰ درصدی مصرف آفت‌کش‌ها منجر شده است، که این امر هزینه‌های تولید را به میزان قابل توجهی کاهش داده و در عین حال سلامت خاک و اکوسیستم را نیز حفظ کرده است (الین و هوانگ^۴، ۲۰۱۳). کشاورزان مکزیکی که از IPM در کشت ذرت استفاده کردند، به کاهش ۴۰ درصدی هزینه‌های کلی تولید دست یافتند. همچنین، این کشاورزان گزارش دادند که محصولات با کیفیت بالاتر و عاری از باقیمانده آفت‌کش‌های شیمیایی، فرصت‌های صادراتی جدیدی برای آن‌ها ایجاد کرده است (پشین و همکاران، ۲۰۰۹). پژوهشی در مزارع ذرت کنیا نشان داد کشاورزانی که از IPM استفاده نمودند، توانستند ۵۰ درصد در هزینه‌های مربوط به مدیریت آفات را صرفه‌جویی کنند، در حالی که عملکرد محصولات آن‌ها ثابت یا بهبود یافته بود (برگ و جیگینز^۵، ۲۰۰۷). بطور کلی، کاهش هزینه‌های تولید کشاورزی یکی از مهم‌ترین مزایای اقتصادی IPM است که هم برای کشاورزان و هم برای اقتصاد کلان کشورهای کشاورزی محور اهمیت زیادی دارد. تجربیات موفق از کشورهای مختلف نشان می‌دهد که این رویکرد می‌تواند به‌عنوان یک راه حل عملی و مؤثر برای کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری، و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی به‌کار گرفته شود.

افزایش بازدهی و کیفیت محصولات کشاورزی

IPM با کنترل مؤثر آفات و حفظ تعادل اکولوژیکی به‌جای تکیه بر روش‌های شیمیایی که ممکن است به گیاهان آسیب برساند یا کیفیت محصولات را کاهش دهد، از طریق ترکیب روش‌های کنترل زیستی، زراعی، و مکانیکی همراه با مصرف حداقلی آفت‌کش‌های شیمیایی، یا استفاده از دشمنان طبیعی و روش‌های زراعی مانند تناوب کشت، راهکاری مؤثر برای افزایش بازدهی و کیفیت محصولات کشاورزی ارائه می‌دهد. این رویکرد، که بر مبنای استفاده پایدار از منابع طبیعی و کاهش اثرات منفی آفات بر محصولات است، در سال‌های اخیر مورد توجه گسترده‌ای قرار گرفته و در کشورهای مختلف نتایج مثبتی به همراه داشته است (پارسا و همکاران، ۲۰۱۴). یکی از دلایل اصلی بهبود بازدهی در IPM، کاهش آسیب مستقیم آفات به محصولات است. در رویکرد IPM، شناسایی زودهنگام آفات و استفاده از روش‌های کنترلی مناسب، باعث می‌شود که محصولات در مراحل حساس رشد، از آسیب‌های جدی مصون بمانند. به‌عنوان مثال، مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۱ در مزارع پنبه هند نشان داد که اجرای IPM منجر به افزایش ۲۵ درصدی بازدهی در مقایسه با استفاده صرف از آفت‌کش‌های شیمیایی شد (شارما و همکاران، ۲۰۲۳). کاهش استفاده از آفت‌کش‌های شیمیایی در IPM، نقش کلیدی در بهبود کیفیت محصولات کشاورزی دارد. کاهش باقی‌مانده آفت‌کش‌های شیمیایی در محصولات، آن‌ها را برای مصرف انسانی ایمن‌تر می‌کند و ارزش اقتصادی آن‌ها را در بازارهای داخلی و بین‌المللی افزایش می‌دهد. بر اساس مطالعه‌ای در چین، کشاورزان با استفاده از IPM توانستند کیفیت گندم تولیدی را بهبود بخشیده و میزان صادرات خود را به دلیل استانداردهای بالاتر بهداشتی افزایش دهند (ما و ژانگ^۶، ۲۰۲۲؛ لی و همکاران، ۲۰۲۳). هند یکی از کشورهای پیشرو در استفاده از IPM است. اجرای برنامه‌های آموزشی و معرفی فناوری‌های پیشرفته باعث شد کشاورزان هندی در تولید برنج، افزایش ۳۰ درصدی بازدهی و کاهش ۵۰ درصدی مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی را تجربه کنند. این تغییرات همچنین باعث بهبود کیفیت برنج و افزایش صادرات آن به کشورهای آسیای شرقی شد (چاترجی و همکاران، ۲۰۲۱). مطالعه‌ای در مزارع گوجه‌فرنگی هند نشان داد که کشاورزان با اجرای IPM توانستند بازدهی محصولات خود را تا ۲۵

¹ Pretty

² Peshin

³ Depenbusch

⁴ Elaine and Huang

⁵ Berg and Jiggins

⁶ Ma & Zheng

درصد افزایش دهند و کیفیت محصولات نیز بهبود قابل توجهی پیدا کرد (گیری^۱ و همکاران، ۲۰۲۵). در ایالات متحده، اجرای IPM در مزارع سیب زمینی ایالت آیداهو منجر به کاهش ۴۰ درصدی مصرف آفت کش های و افزایش ۲۰ درصدی بازدهی شد. همچنین، محصولات تولیدی توانستند استانداردهای بهداشتی سخت گیرانه اتحادیه اروپا را کسب کنند، که باعث افزایش درآمد کشاورزان شد (هالینگزورث و کولی^۲، ۲۰۰۱). در آفریقا، کشاورزان کنیا با اجرای IPM در تولید ذرت توانستند از حملات آفت های شایع جلوگیری کنند و میزان بازدهی را تا ۳۵ درصد افزایش دهند. این پروژه که با حمایت سازمان غذا و کشاورزی (FAO) اجرا شد، نشان داد که IPM می تواند به عنوان راهکاری مقرون به صرفه برای کشاورزان کم درآمد مورد استفاده قرار گیرد (کنستانتین^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). در ایران نیز مطالعه ای حسین زاده و همکاران (۱۳۸۹) در مزارع استان خوزستان نشان داد که اجرای برنامه های مدیریت تلفیقی آفات منجر به کاهش مصرف آفت کش های شیمیایی، افزایش بازدهی محصول و کاهش آثار منفی زیست محیطی شده است. این یافته ها با نتایج مطالعات بین المللی همخوانی دارد و نشان دهنده ی اثربخشی IPM در بهبود پایداری اقتصادی و محیط زیستی در شرایط بومی ایران است. عوامل کلیدی دیگری مانند آموزش و ترویج کشاورزان در زمینه نحوه شناسایی آفات و استفاده از روش های تلفیقی، دسترسی به فناوری و منابع در فراهم سازی تجهیزات لازم برای پایش آفات و دسترسی به عوامل کنترل زیستی و پشتیبانی دولت و سیاست گذاری مناسب از طریق حمایت مالی و سیاست های تشویقی برای کشاورزان، نتایج بهتر و نقش موثری در موفقیت IPM، بهبود بازدهی و کیفیت محصولات دارد. بنابراین، IPM به عنوان یک رویکرد جامع و پایدار، نه تنها می تواند بازدهی محصولات کشاورزی را افزایش دهد، بلکه کیفیت آن ها را نیز بهبود بخشد. تجربیات کشورهای مختلف نشان داده است که این روش می تواند به طور مؤثر چالش های مرتبط با آفات و کاهش کیفیت محصولات را برطرف کند. با این حال، موفقیت این رویکرد نیازمند حمایت های آموزشی، فناوری، و سیاست گذاری های مناسب است.

پایداری اقتصادی کشاورزان در بلندمدت

یکی از مهم ترین مزایای اقتصادی مدیریت تلفیقی آفات (IPM) تأمین پایداری اقتصادی کشاورزان در بلندمدت است. اجرای IPM نه تنها در کوتاه مدت هزینه های کشاورزی را کاهش می دهد، بلکه به پایداری اقتصادی در بلندمدت کمک می کند. این پایداری از طریق کاهش هزینه های تولید، بهبود کیفیت و بازده محصولات، و کاهش وابستگی به نهاده های شیمیایی حاصل می شود. IPM با کاهش مصرف آفت کش های شیمیایی و استفاده از روش های پایدارتر، موجب کاهش هزینه های متغیر کشاورزی شده و همچنین با حفظ کیفیت محیط زیست و بهبود سلامت خاک و اکوسیستم های کشاورزی، امکان بهره برداری مستمر از زمین های کشاورزی را فراهم می آورد (پاپ و همکاران، ۲۰۱۳). مدیریت تلفیقی با استفاده از روش های پیشگیری، نظارت، و کنترل زیستی آفات، میزان نیاز به آفت کش های شیمیایی و هزینه های مرتبط را کاهش می دهد. برای مثال، مطالعه ای در ایالات متحده نشان داد که کشاورزان پنبه با اجرای IPM توانستند هزینه های آفت کش های را به طور متوسط ۴۰ درصد کاهش دهند، در حالی که بازده محصول حفظ یا افزایش یافت (شارما و همکاران، ۲۰۲۳). پژوهشی در فیلیپین نشان داد که کشاورزانی که به طور مستمر از IPM استفاده کردند، توانستند سود خالص خود را در یک بازه زمانی پنج ساله تا ۴۰ درصد افزایش دهند (سانتی^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). در تایلند، پروژه های متعددی برای ترویج IPM در مزارع برنج اجرا شده است. در یکی از موفق ترین این پروژه ها، کشاورزان با استفاده از روش های IPM مانند مدیریت کشت هم زمان و استفاده از دشمنان طبیعی آفات، توانستند هزینه های آفت کش ها را تا ۶۰ درصد کاهش دهند. علاوه بر این، درآمد حاصل از فروش محصولات به دلیل افزایش کیفیت و کاهش باقیمانده های شیمیایی در محصولات، به طور متوسط ۳۰ درصد افزایش یافت (لاو هاودومچوک^۵ و همکاران، ۲۰۲۱). بهبود سلامت خاک و کاهش آلودگی محیط زیست در نتیجه کاهش مصرف آفت کش های شیمیایی می تواند منجر به افزایش کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی شود. در هند، کشاورزان برنج که از IPM استفاده کردند، نه تنها بازده محصولشان ۲۵ درصد افزایش

¹ Giri

² Hollingsworth & Coli

³ Constantine

⁴ Santi

⁵ Laohaudomchok

یافت، بلکه محصولاتشان در بازارهای صادراتی با قیمت بالاتری به فروش رسید (چاترجی و همکاران، ۲۰۲۱). مدیریت تلفیقی آفات موجب کاهش خسارات ناشی از مقاومت آفات خواهد شد. استفاده بی‌رویه از آفت‌کش‌های شیمیایی می‌تواند منجر به ایجاد مقاومت در آفات شود، که کنترل آن‌ها را پرهزینه‌تر و دشوارتر می‌کند. IPM با استفاده از روش‌های مختلف کنترل آفات (مانند کنترل زیستی و مکانیکی) از بروز مقاومت جلوگیری کرده و هزینه‌های کنترل آفات را در بلندمدت کاهش می‌دهد (لنترن، ۲۰۱۲). اجرای IPM در مزارع پنبه ایالت آریزونا منجر به کاهش ۵۰ درصدی مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی و صرفه‌جویی سالانه ۳۰ میلیون دلار برای کشاورزان شد. این پروژه نشان داد که پایداری اقتصادی می‌تواند همزمان با حفاظت از محیط زیست و کاهش آسیب رسانی به اکوسیستم‌ها حاصل گردد (شارون^۱، ۲۰۱۸). برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات در مزارع برنج هند تأثیرات اقتصادی قابل توجهی داشته‌اند. کشاورزان شرکت‌کننده در این برنامه‌ها توانستند هزینه‌های تولید را تا ۲۰ درصد کاهش دهند و سود خالص خود را افزایش دهند. این نتایج از طریق کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی و بهبود کیفیت محصولات به دست آمد (چاترجی و همکاران، ۲۰۲۱). پروژه‌های IPM در مزارع قهوه ویتنام نشان داد که استفاده از روش‌های کنترل زیستی آفات منجر به افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. همچنین اجرای این پروژه‌ها کشاورزان را به گونه‌ای توانمند نمود تا به بازارهای بین‌المللی دسترسی پیدا کنند و درآمد خود را افزایش دهند (پاپ و همکاران، ۲۰۱۳). پایداری اقتصادی در بلندمدت یکی از برجسته‌ترین مزایای IPM است که نه تنها منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش بازده محصولات می‌شود، بلکه امکان بهره‌برداری مستمر و پایدار از منابع کشاورزی را فراهم می‌کند. تجربه کشورهای مختلف نشان می‌دهد که IPM می‌تواند با ایجاد توازن بین بهره‌وری اقتصادی و حفاظت از محیط زیست، به‌عنوان یک رویکرد پایدار و قابل‌اعتماد در کشاورزی مدرن مورد استفاده قرار گیرد.

روش‌های تحلیل اقتصادی برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات

مدل آستانه اقتصادی^۲

این مدل سطح جمعیت آفتی را تعیین می‌کند که در آن کنترل آفات از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. فرمول این مدل شامل $T=C/PLR$ است که در آن، C: هزینه کنترل آفات، P: قیمت واحد محصول، L: کاهش عملکرد محصول به ازای هر واحد جمعیت آفت، R: کاهش جمعیت آفت به واسطه کنترل C. این مدل مناسب برای تصمیم‌گیری درباره زمان شروع کنترل آفات است، اما محدودیت‌هایی مانند نیاز به داده‌های دقیق و عدم توانایی در مقایسه چندین روش کنترل دارد (پدیگو^۳ و همکاران، ۲۰۰۳).

مدل تحلیل نهایی^۴

این مدل سطح بهینه کنترل آفات را تعیین می‌کند که در آن بازده نهایی برابر یا بیشتر از هزینه نهایی (MR=MC) است. فرضیات این مدل شامل رفتار کشاورز بر اساس حداکثرسازی سود، دانش کامل از تابع تولید، قانون بازده نزولی است. این مدل برای تعیین غلظت بهینه آفت‌کش‌ها جهت کاهش جمعیت آفات کاربرد دارد و نیازمند داده‌های دقیق درباره تأثیر غلظت‌های مختلف آفت‌کش‌ها بر عملکرد است (پنل^۵، ۱۹۹۷).

مدل نظریه تصمیم‌گیری^۶

¹ Sharon

² Economic threshold model

³ Pedigo

⁴ Marginal analysis model

⁵ Pannell

⁶ Decision theory model

این مدل عدم قطعیت را در شدت حمله آفات در نظر می‌گیرد و تصمیم‌گیری را بر اساس ماتریس پیامدها و احتمالات وقوع شدت‌های مختلف حمله انجام می‌دهد. فرمول $O_j = \sum (p_i \cdot R_{ij})$ ، که در آن O_j : بازده مورد انتظار از اقدام j ، p_i : احتمال وقوع شدت i ، R_{ij} : بازده خالص اقدام j در شدت i . این مدل مناسب برای شرایط عدم قطعیت و پیش‌بینی شدت حمله است و محدودیت‌های آن شامل پیچیدگی محاسبات و نیاز به داده‌های تاریخی است (هارداکر^۱ و همکاران، ۲۰۱۵).

مدل تصمیم‌گیری رفتاری^۲

این مدل بر اساس ادراک کشاورزان از مشکل آفت طراحی شده است نه وضعیت واقعی، و ویژگی‌های آن شامل توضیح تفاوت‌های تصمیم‌گیری بین کشاورزان با شرایط مشابه و تأثیر عوامل روان‌شناختی و اجتماعی بر تصمیم‌گیری است. کاربرد این مدل در تحلیل رفتار کشاورزان و شناسایی موانع پذیرش برنامه‌های مدیریت تلفیقی است. این مدل‌ها ابزارهایی قدرتمند برای بهینه‌سازی تصمیم‌گیری در مدیریت آفات ارائه می‌دهند و بسته به شرایط، یکی یا ترکیبی از آن‌ها استفاده می‌شود (جونز و پنل^۳، ۲۰۰۹).

تحلیل هزینه-فایده^۴

یکی از روش‌های کلیدی برای ارزیابی برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات است. تحلیل هزینه-فایده در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات نه تنها به ارزیابی اقتصادی، بلکه به بررسی تأثیرات محیط زیستی نیز می‌پردازد. این روش کمک می‌کند تا مزایای محیط زیستی کاهش مصرف آفت‌کش‌ها و استفاده از روش‌های پایدارتر در کشاورزی به طور دقیق‌تر ارزیابی شوند. در این تحلیل هزینه‌های اجرای برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات را با منافع حاصل از آن مقایسه می‌کند تا مشخص شود که آیا برنامه از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر است. این روش هزینه‌های اجرای IPM را با منافع حاصل از کاهش مصرف آفت‌کش‌ها، افزایش بهره‌وری و کاهش اثرات منفی محیط زیستی مقایسه می‌کند و برای ارزیابی اقتصادی در بلندمدت و توجیه سرمایه‌گذاری در برنامه‌های مدیریت تلفیقی کاربرد دارد (پرتی^۵ و همکاران، ۲۰۰۱). چالش این تحلیل، دشواری در کمی‌سازی منافع غیرمستقیم مانند بهبود سلامت یا حفاظت محیط زیست است. هزینه‌های مستقیم شامل هزینه‌های آموزش کشاورزان، خرید تجهیزات، و اجرای روش‌های برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات است و هزینه‌های غیرمستقیم شامل هزینه‌های تحقیق و توسعه یا تأثیرات موقتی کاهش تولید در مراحل اولیه است.

روش‌های غیر بازاری^۶

علاوه بر روش‌های تحلیل اقتصادی مبتنی بر بازار، روش‌های غیر بازاری نیز نقش مهمی در ارزیابی کامل مزایای اقتصادی برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات ایفا می‌کنند. این روش‌ها برای ارزش‌گذاری منفعی به کار می‌روند که به طور مستقیم در بازار قیمت‌گذاری نمی‌شوند، مانند بهبود کیفیت محیط زیست، حفظ تنوع زیستی، و تولید محصولات کشاورزی سالم‌تر با بقایای آفت‌کش‌ها کمتر. یکی از این روش‌ها، ارزش‌گذاری مشروط (CV) است که با استفاده از پرسشنامه‌ها و سناریوهای فرضی، تمایل به پرداخت (WTP) افراد را برای دریافت این منافع یا اجتناب از ضررهای ناشی از عدم اجرای برنامه‌های IPM اندازه‌گیری می‌کند. این روش بر اساس تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای بهره‌مندی از محصولات کم‌خطرتر، سالم‌تر و با کیفیت زیست‌محیطی بالاتر طراحی شده است. استفاده از این روش‌ها امکان برآورد جامع‌تری از ارزش اقتصادی مدیریت تلفیقی آفات را فراهم می‌آورد و می‌تواند به سیاست‌گذاران در تصمیم‌گیری‌های مرتبط با ترویج و اجرای این برنامه‌ها کمک کند. در مطالعه حسین‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) از این روش استفاده شده است نتایج نشان داد که مصرف‌کنندگان حاضرند برای خرید محصولات

¹ Hardaker

² Behavioral decision model

³ Jones & Pannell

⁴ Cost-Benefit analysis

⁵ Pretty

⁶ Non-market methods

⁷ Contingent Valuation

⁸ Willingness to pay

تولید شده تحت سیستم IPM، مبلغ بیشتری پرداخت کنند. این نتیجه نشان می‌دهد که منافع محیط زیستی این روش درک شده و دارای ارزش اقتصادی واقعی در ذهن جامعه مصرف‌کننده است.

مدل مازاد اقتصادی^۱

این مدل تأثیر برنامه‌های مدیریت تلفیقی بر رفاه اقتصادی جامعه را با تمرکز بر تغییرات در مازاد مصرف‌کننده و تولیدکننده بررسی می‌کند. ویژگی‌های آن شامل: تحلیل تغییرات قیمت و تولید در بازار و ارزیابی تأثیرات بر کل زنجیره تأمین کشاورزی است. این مدل امکان ارزیابی تأثیرات گسترده‌تر مدیریت تلفیقی آفات بر اقتصاد منطقه‌ای یا ملی را فراهم می‌کند. اما نیازمند داده‌های گسترده و مدل‌سازی پیچیده است. اجزای مدل مازاد اقتصادی شامل مازاد مصرف‌کننده^۲، تفاوت بین حداکثر قیمتی که مصرف‌کنندگان حاضر به پرداخت هستند و قیمتی که واقعاً پرداخت می‌کنند، مازاد تولیدکننده^۳ تفاوت بین قیمتی که تولیدکنندگان دریافت می‌کنند و حداقل هزینه‌ای که برای تولید محصول متحمل می‌شوند. این مدل تأثیرات اقتصادی را در سطح کلان بررسی می‌کند و امکان تحلیل اثرات گسترده‌تر مدیریت تلفیقی آفات بر بازارهای کشاورزی و اقتصاد ملی را فراهم می‌آورد. اثرات محیط زیستی ارزیابی با مدل مازاد اقتصادی شامل کاهش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی است که برنامه‌های IPM با جایگزینی روش‌های غیرشیمیایی مانند کنترل بیولوژیکی و مکانیکی، استفاده از آفت‌کش‌ها را کاهش می‌دهند. این امر به کاهش آلودگی خاک، آب، و هوا کمک می‌کند. کاهش مصرف آفت‌کش‌ها باعث جلوگیری از مقاومت آفات به آفت‌کش‌ها و حفظ تنوع زیستی می‌شود. همچنین منجر به تولید محصولات سالم‌تر برای مصرف‌کنندگان می‌شود. این امر تأثیر مثبتی بر سلامت انسان و اکوسیستم دارد و سبب افزایش پایداری در سیستم‌های کشاورزی می‌شود. چالش‌هایی که در تحلیل محیط زیستی مدل مازاد اقتصادی با آن مواجه هستیم شامل دشواری در کمی‌سازی منافع محیط زیستی مانند کاهش آلودگی یا حفظ تنوع زیستی و نیاز به داده‌های بلندمدت برای ارزیابی تأثیرات پایدار است (جپسون^۴ و همکاران، ۲۰۲۰؛ اوهمکی^۵ و همکاران، ۱۹۹۶).

مدل‌های اقتصادسنجی^۶

این مدل‌ها از داده‌های تجربی برای تحلیل رابطه بین اجرای IPM و متغیرهای اقتصادی مانند بهره‌وری، درآمد و مصرف آفت‌کش‌ها استفاده می‌کنند. کاربرد مدل‌ها در بررسی تأثیر مدیریت تلفیقی آفات بر عملکرد محصول و تحلیل تفاوت بین کشاورزان استفاده‌کننده و غیر استفاده‌کننده از مدیریت تلفیقی آفات است و نیاز به داده‌های دقیق و تکنیک‌های پیشرفته آماری دارد. این روش‌ها ابزارهای قدرتمندی برای سیاست‌گذاران فراهم می‌کنند تا اثرات اقتصادی برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات را در سطح کلان ارزیابی نمایند (فدر^۷ و همکاران، ۱۹۸۵).

چالش‌ها و ملاحظات پذیرش و گسترش روش‌های مدیریت تلفیقی آفات

مدیریت تلفیقی آفات (IPM) به‌عنوان رویکردی پایدار در کشاورزی، بر اساس اصول محیط زیستی و اقتصادی طراحی شده است و می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر بهره‌وری کشاورزی و حفاظت از محیط‌زیست داشته باشد. با این وجود همواره در مسیر پذیرش و اجرای این برنامه‌ها چالش‌ها و ملاحظات وجود دارد که به نظر میرسد شناسایی و دانستن این موارد به سبب دلسرد نشدن از ادامه، استمرار و گسترش اجرای روش‌های مدیریت تلفیقی ضروری است. اجرای IPM معمولاً نیازمند سرمایه‌گذاری اولیه در زمینه آموزش، تجهیزات پایش و استفاده از روش‌های بیولوژیکی مانند کنترل زیستی و استفاده از عوامل طبیعی است. این

^۱ Economic surplus model

^۲ Consumer surplus

^۳ Producer surplus

^۴ Jepson

^۵ Oehmke

^۶ Econometric models

^۷ Feder

هزینه‌ها می‌توانند به‌ویژه برای کشاورزان خرده‌پا چالش‌برانگیز باشند (پریتی و باروچا، ۲۰۱۵). با این حال، تجربه نشان داده است که این سرمایه‌گذاری‌ها در بلندمدت می‌توانند از طریق کاهش هزینه‌های تولید و افزایش بهره‌وری جبران شوند (پیمنتل و برگس^۱، ۲۰۱۳). همچنین، در کوتاه‌مدت، پذیرش IPM ممکن است به دلیل کاهش عملکرد یا افزایش هزینه‌های اولیه تولید، منافع اقتصادی کم یا عمده‌تاً ناچیزی را به همراه داشته باشد. با این حال، در بلندمدت، IPM می‌تواند منجر به کاهش وابستگی به آفت‌کش‌های شیمیایی، بهبود سلامت خاک و افزایش کیفیت محصولات شود. این مزایا نه تنها هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهد بلکه با بهبود پایداری کشاورزی به سودآوری پایدار منجر می‌شود (گلیسمن، ۲۰۱۶). در واقع محصولات تولیدشده با استفاده از IPM به دلیل کاهش باقی‌مانده آفت‌کش‌ها شیمیایی، ارزش بازاری بالاتری دارند. تقاضای فزاینده مصرف‌کنندگان برای محصولات سالم و ارگانیک، انگیزه‌ای قوی برای کشاورزان است. قیمت بالاتر این محصولات می‌تواند هزینه‌های اولیه IPM را جبران کند و کشاورزان را به پذیرش این روش ترغیب کند (راتناداس^۲، ۲۰۲۰). نتایج مطالعه‌ای که در زمینه تبیین رفتار کشاورزان در پذیرش فناوری‌های مدیریت تلفیقی آفات در مزارع برنج ایران صورت گرفت، نشان داد، دانش، نگرش، افق برنامه‌ریزی، دسترسی به نهاده‌ها، عضویت در گروه‌های محلی و کیفیت خاک، اثر مثبت و مالکیت زمین اثر منفی بر پذیرش برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات دارد (ویسی و همکاران، ۱۳۸۹). آگاهی کشاورزان از مزایای اقتصادی و محیط‌زیستی IPM و دانش آن‌ها درباره نحوه اجرای صحیح این روش، از عوامل کلیدی موفقیت IPM است. برنامه‌های آموزشی و ترویجی نقش مهمی در افزایش پذیرش این روش توسط کشاورزان ایفا می‌کنند (پریتی و باروچا، ۲۰۱۵؛ گلیسمن، ۲۰۱۶).

نتیجه‌گیری

مدیریت تلفیقی آفات (IPM) به‌عنوان یک راهبرد پایدار و کارآمد، تأثیرات چشمگیری در کاهش اثرات منفی بر محیط زیست دارد که تبعات و خسارات اقتصادی را کاهش می‌دهد. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که IPM با کاهش مصرف آفت‌کش‌های شیمیایی و جایگزینی روش‌های طبیعی و زیستی، سبب کاهش آلودگی منابع طبیعی، حفاظت از تنوع زیستی، کاهش بقایای آفت‌کش‌ها در زنجیره غذایی، کاهش مخاطرات برای سلامت انسان و سایر گونه‌های غیر هدف و کاهش اثر تغییرات اقلیمی می‌شود. این رویکرد نه تنها از نظر محیط زیستی مؤثر است، بلکه از نظر اقتصادی نیز با کاهش هزینه‌های تولید، افزایش بازدهی محصولات و ایجاد فرصت‌های صادرات برای محصولات سالم‌تر، به سودآوری بیشتر کمک می‌کند. اجرای برنامه‌های IPM شامل جریان‌ها و شیوه‌های کافی، ایمن، عادلانه و ثابت است که امنیت غذایی و اکوسیستم‌ها را تضمین می‌کند (آنگون^۳ و همکاران، ۲۰۲۳). با این حال، موانعی چون آگاهی پایین کشاورزان، محدودیت دسترسی به فناوری‌های نوین و مقاومت در برابر تغییر، اجرای گسترده IPM را محدود کرده است. آگاهی کشاورزان از مزایای اقتصادی و منافع محیط زیستی IPM و دانش آن‌ها درباره نحوه اجرای صحیح این روش، نقش کلیدی در موفقیت IPM دارد (گلیسمن، ۲۰۱۶). دانش فنی، مجموعه‌ای از اصول به کارگیری مدیریت تلفیقی آفات است که دو بعد دانش به کارگیری و شناخت مزایای محیط زیستی را شامل می‌شود و نقش قابل توجهی در پذیرش و اعتماد آن‌ها در استفاده از این روش دارد. همان‌طور که کمبود دانش کشاورزان از آثار نامطلوب ناشی از آفت‌کش‌ها و مشارکت پایین آن‌ها در فرآیند تولید، از جمله چالش‌های پیشروی فرآیند ارتقا دانش فنی نسبت به مدیریت تلفیقی آفات است (محمدرضایی و حیاتی، ۱۳۹۷). بنابراین، برنامه‌های آموزشی و ترویجی نقش مهمی در افزایش پذیرش این روش ایفا می‌کنند (پریتی و باروچا، ۲۰۱۵). موفقیت این رویکرد نیازمند حمایت‌های آموزشی، فناوری و سیاست‌گذاری‌های مناسب است. سیاست‌های حمایتی، نقش مهمی در پذیرش و موفقیت این روش دارد. علاوه بر این، سیاست‌های تشویقی می‌توانند شکاف میان هزینه‌های اولیه و منافع بلندمدت را پر کنند. توجه جدی به این رویکرد و سرمایه‌گذاری در برنامه‌های آموزشی و پژوهشی مرتبط می‌تواند آینده‌ای سبزتر و پایدارتر رقم بزند.

¹ Pimentel & Burgess

² Ratnadass

³ Angon

منابع

- حسین زاده، ج.، شرفا، س.، دشتی، ق. (۱۳۸۹). تحلیل اقتصادی منافع زیست محیطی برنامه های مدیریت تلفیقی آفات (مطالعه موردی مزارع استان خوزستان). مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران. ۴۱، ۲-۳، ۲۶۷-۲۷۴.
- رفیعی، ب.، کیومرثی، ج. (۱۴۰۳). اثرات نامطلوب آفت کش ها بر محیط زیست و موجودات غیر هدف. پژوهش و فناوری محیط زیست، ۹(۱۵): ۱۸-۱.
- رفیعی، ب.، کیومرثی، ج.، ناصری هرسینی، ر.، مهدویان، س. م. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر تغییرات آب و هوایی بر محیط زیست و کشاورزی. پژوهش و فناوری محیط زیست، ۸(۱۳): ۲۳-۳۹.
- لطفیان، م. ۱۳۹۶. اصول هشت گانه مدیریت تلفیقی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات باغبانی. ۱۹ صفحه.
- محمد رضایی، م.، حیاتی، د. (۱۳۹۷). سازه های مؤثر بر دانش فنی مدیریت تلفیقی آفات پسته کاران استان کرمان. علوم ترویج و آموزش کشاورزی ایران. ۱۴ (۱): ۱۱۹-۲۱۴.
- ویسی، ه.، محمودی، ج. و شریفی مقدم، م. (۱۳۸۹). تبیین رفتار کشاورزان در پذیرش فناوری های مدیریت تلفیقی آفات. مجله تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، ۴، ۴۸۱-۴۹۰.
- Angon, P. B., Mondal, S., Jahan I., Datto, M., Antu, U. B., Ayshi, F. J., Islam, Md. S., Xiao X. (2023). Integrated pest management (IPM) in agriculture and its role in maintaining ecological balance and biodiversity. *Advances in Agriculture.*, 5546373, 19 pp.
- Banerjee, Amitava. (2014). Integrated pest management in rice in india -A REVIEW. 133-144.
- Barzman, M., Bàrberi, P., Birch, A. N., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., et al. (2015). Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1199-1215.
- Begg, G. S., Cook, S. M., Dye, R., Ferrante, M., Franck, P., Lavigne, C., et al. (2017). A functional overview of conservation biological control. *Crop Prot* 97:145-158.
- Bellon, S., de Sainte, M. C., Lauri, P. E., Navarette, M., Nesme, T., Plénet, D., Pluvineau, J. & Habib, R. (2006). La production fruitière intégrée: le vert est-il dans le fruit? *Le Courrier de l'Environnement del'INRA*, Paris, 5-18.
- Berg, v. d. H, & Jiggins J (2007). Investing in farmers - the impacts of farmer field schools in relation to integrated pest management. *World Dev.* 35:663-686
- Blanche, K. R., Ludwig, J. A., & Cunningham, S. A. (2006). Proximity to rainforest enhances pollination and fruit set in orchards. *Journal of Applied Ecology*, 43(6), 1182-1187.
- Bommarco, R., Kleijn, D., & Potts, S. G. (2013). Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology & Evolution*, 28(4), 230-238.
- Chakraborty, S., et al. (2023). Environmental benefits of IPM in rice farming. *Environment International*, 164, 107875.
- Chatterjee, S., C. Gangopadhyay, P. Bandyopadhyay, M.K. Bhowmick, S.K. Roy, A. Majumder, M.K. Gathala, R.K. Tanwar, S.P. Singh, A. Birah, C. Chattopadhyay, (2021). Input-based assessment on integrated pest management for transplanted rice (*Oryza sativa*) in India, *Crop Protection*, 141:105444.
- Constantine, K. L., Murphy, S. T., & Pratt, C. F. (2020). The interaction between pests, mixed-maize crop production and food security: a case study of smallholder farmers in Mwea West, Kenya. *Cogent Food & Agriculture*, 6(1).
- Das, N., Gs, S., Teja, K. S. S., Hazarika, S., Madhuri, V., Rupali J. S., Devi, L. S., Biplove B. D. J. P., Aubertot, J. N., Flor, R.J. et al. (2024). Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 41, 38.
- Dasgupta, S., Meisner, C., Wheeler, D. (2007). Is Environmentally Friendly Agriculture Less Profitable for Farmers? Evidence on Integrated Pest Management in Bangladesh. *Review of Agricultural Economics*, 29(1):103-118.
- Delcour I, Spanoghe P, Uyttendaele M. (2015). Literature review: impact of climate change on pesticide use. *Food Res. Int.* 68:7-15.
- Denholm Ian & Devine Gregor J., (2013). Insecticide Resistance. *Encyclopedia of biodiversity*. 4: 28298-307.
- Depenbusch, L., Sequeros, T., Schreinemachers, P., Sharif, M., Mannamparambath, K., Uddin, N., & Hanson, P. (2023). Tomato pests and diseases in Bangladesh and India: farmers' management and potential economic gains from insect resistant varieties and integrated pest management. *International Journal of Pest Management*, 1-15.

- Desneux, N., Decourtye, A., Delpuech, J.-M., (2007). The sublethal effects of pesticides on beneficial arthropods. *Annu. Rev. Entomol.*, 52, 81–106.
- Dubey, Vinod & Sahoo, Sanjay & Sujatha, B. & Das, Abhibandana. (2022). Adoption of IPM in Indian Agriculture.
- Ehler, L. E. (2006). Integrated pest management (IPM): Definition, historical development and implementation, and the other IPM. *Pest Management Science* 62(9):787-9.
- Elaine, M. Liu, J., Huang, K. (2013). Risk preferences and pesticide use by cotton farmers in China. *Journal of Development Economics*, 103:202-215.
- Feder, G., Just, R. E., & Zilberman, D. (1985). Adoption of agricultural innovations in developing countries: A survey. *Economic Development and Cultural Change*, 33(2), 255-298.
- Ferron, P. (1999). Protection intégrée des cultures: évolution du concept et de son application. *Cah Agr* 8:389–396.
- Garibaldi, L. A., Carvalheiro, L. G., Leonhardt, S. D., Aizen, M. A., Blaauw, B. R., Isaacs, R., ... & Klein, A. M. (2014). From research to action: Enhancing crop yield through wild pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(8), 439-447.
- Giri, L., Hussain, M., Angmo, J. C., Mustafa, G., Singh, B., Bahukhnadi, A., Pradhan, R., Kumar, R., Mukherjee, S., Bhatt, I. D., & Nautiyal, S. (2025). Enhancing tomato (*Solanum lycopersicum*) yield and nutrition quality through hydroponic cultivation with treated wastewater. *Food chemistry*, 463(Pt 1), 141079.
- Gliessman, S. (2016). Transforming food systems with agroecology. *Agroecology and sustainable food systems*, 40(3), 187-189.
- Hardaker, J. B., Lien, G., Anderson, J. R. & Huirne, R. B. (2015). *Coping with risk in agriculture: Applied decision analysis*. Walingford: CABI. 0851998313.
- Hollingsworth, C. S., & Coli, W. M. (2001). IPM adoption in northeastern U.S.: An examination of the IPM continuum. *American Journal of Alternative Agriculture*, 16(4), 177–183.
- Jepson, P. C., Murray, K., Bach, O., Bonilla, M. A., Neumeister, L. (2020). Selection of pesticides to reduce human and environmental health risks: a global guideline and minimum pesticides list. *Lancet Plan Health* 4: e56–e63.
- Jones, R., & Pannell, D. J. (2009). The economics of integrated pest management for crops. *Agricultural Systems*, 31(3), 153-177.
- Jørs, E., Aramayo, A., Huici, O., Konradsen, F., Gulis, G. (2017). Obstacles and opportunities for diffusion of integrated pest management strategies reported by Bolivian small-scale farmers and agronomists. *Environ Health Insight*. 11: 1178630217703390.
- Joshi, R. & Gaur, N. (2020). Agro-ecological approach for insect pest management in organic crops. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8(4): 1473-1477.
- Khatri, N., Tyagi, S. (2015). Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas. *Front. Life Sci*. 8 23–39.
- Laohaudomchok, W., Nankongnab, N., Siriruttanapruk, S., Klaimala, P., Lianchamroon, W., Ousap, P., Jatiket, M., Kajitvichyanukul, P., Kitana, N., Siri Wong, W., Hemachudhah, T., Satayavivad, J., Robson, M., Jaacks, L., Barr, D. B., Kongtip, P., & Woskie, S. (2021). Pesticide use in Thailand: Current situation, health risks, and gaps in research and policy. *Human and ecological risk assessment: HERA*, 27(5), 1147–1169.
- Leake, A. (2000). The development of integrated crop management in agricultural crops: comparisons with conventional methods. *Pest Manag Sci*, 56:950–953.
- Lenteren, V. J. C. (2012). The state of commercial augmentative biological control: plenty of natural enemies, but a frustrating lack of uptake. *BioControl*, 57:1–20.
- Li, Q., Si, R., Guo, S., Waqas, M. A., & Zhang, B. (2023). Externalities of Pesticides and Their Internalization in the Wheat–Maize Cropping System—A Case Study in China’s Northern Plains. *Sustainability*, 15(16), 12365.
- Liang, D., Lu, X., Zhuang, M. et al. (2021). China’s greenhouse gas emissions for cropping systems from 1978–2016. *Sci Data* 8, 171.
- Ma, W., & Zheng, H. (2022). Heterogeneous impacts of information technology adoption on pesticide and fertiliser expenditures: Evidence from wheat farmers in China. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 66(1), 72-92.
- Mahdavian, S. M., Askari, F., Kioumars, H., Naseri Harsini, R., Dehghanzadeh, H., & Saboori, B. (2024). Modeling the linkage between climate change, CH₄ emissions, and land use with Iran’s livestock production: A food security perspective. *Natural Resources Forum*, 1–24.
- Mathava, K. and Ligy, P. (2006). Adsorption and desorption characteristics of hydrophobic pesticide endosulfan in four Indian soils. *Chemosphere*, 62, 1064–1077.
- Nguyen, T. D. (2018). Economic and environmental effects of Integrated Pest Management program: A case study of Hau Giang province (Mekong Delta). *Journal of Vietnamese Environment*, 9(2), 77-85.

- Oehmke, J. F. (1996). Science under scarcity: Principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting: J.M. Alston, G.W. Norton, and P.G. Pardey. Cornell University Press, Ithaca, NY, 1995, 513 pp., US\$39.95, ISBN 0-8014-2937-4. *Agricultural Economics*, 15, 2, 151-153.
- Pannell, D. (1997). Sensitivity analysis of normative economic models: theoretical framework and practical strategies. *Agricultural Economics*, 16(2), 139-152.
- Parsa, S., Morse, S., Bonifacio, A., Chancellor, T. C., Condori, B., Crespo-Pérez, V., ... & Dangles, O. (2014). Obstacles to integrated pest management adoption in developing countries. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(10), 3889-3894.
- Pecenka, J. R., Ingwell, L. L., Foster, R. E., Krupke, C. H., & Kaplan, I. (2021). IPM reduces insecticide applications by 95% while maintaining or enhancing crop yields through wild pollinator conservation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 118(44), e2108429118.
- Pedigo, L. P., Hutchins, S. H. & Higley, L. (2003). Economic Injury Levels in Theory and Practice. *Annual Review of Entomology*, 31, 341-368.
- Pérez-Méndez N, Andersson GKS, Requier F, Hipólito J, Aizen MA, et al. 2020. The economic cost of losing native pollinator species for orchard production. *J. Appl. Ecol.* 57, 599–608.
- Perkins, J.H. (2009). Integrated Pest Management, Biofuels, and a New Green Revolution: A Case Study of the American Midwest. In: Peshin, R., Dhawan, A.K. (eds) *Integrated Pest Management: Dissemination and Impact*. Springer, Dordrecht. 581–607.
- Peshin, R., & Dhawan, A.K.(2009). *Integrated Pest Management: Dissemination and Impact*. 978-1-4020-8990-9.
- Pimentel, D. & Burgess, M. (2013). Environmental and Economic Benefits of Reducing Pesticide Use. *Integrated Pest Management*, 3, 127-139.
- Pimentel, D., & Pimentel, M. (1992). Environmental and economic costs of pesticide use. *BioScience*, 42(10), 750–760.
- Popp, J., Pető, K., & Nagy, J. (2013). Pesticide productivity and food security. A review. *Agronomy for sustainable development*, 33, 243-255.
- Potts, S. G., Biesmeijer, J. C., Kremen, C., Neumann, P., Schweiger, O., & Kunin, W. E. (2010). Global pollinator declines: Trends, impacts and drivers. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(6), 345–353.
- Pretty, J. N., Brett, C., Gee, D., Hine, R. E., Mason, C. F., Morison, J. I. L., ... & Dobbs, T. L. (2001). Policy challenges and priorities for internalizing the externalities of modern agriculture. *Journal of Environmental Planning and Management*, 44(2), 263-283.
- Pretty, J., & Bharucha, Z. P. (2015). *Integrated Pest Management for Sustainable Intensification of Agriculture in Asia and Africa*. *Insects*, 6(1), 152-182.
- Pretty, J., & Bharucha, Z. P. (2018). *Sustainable intensification of agriculture: greening the world's food economy*. Routledge.
- Ratnadass, A. (2020). Crop Protection for Agricultural Intensification Systems in Sub-Saharan Africa. *Sustain Agric Rev*, 39:1–34.
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8–27.
- Santi, S., Roderick M. Rejesus & Jose M. Yorobe Jr., (2015). "Economic impacts of integrated pest management (IPM) farmer field schools (FFS): evidence from onion farmers in the Philippines," *Agricultural Economics, International Association of Agricultural Economists*, 46(2), 149-162.
- Settle, W. H., Ariawan, H., Astuti, E. T., Cahyana, W., Hakim, A. L., Hindayana, D., & Lestari, A. S. (1996). Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology*, 77(7), 1975-1988.
- Sharma, S. (2023). Cultivating Sustainable Solutions: Integrated Pest Management (IPM) For Safer and Greener Agronomy. *Corporate Sustainable Management Journal (CSM J)*, 1(2), 103-108.
- Sharon K Papiernik, Thomas W Sappington, Randall G Luttrell, Louis S Hesler, K Clint Allen, (2018). Overview: Risk Factors and Historic Levels of Pressure from Insect Pests of Seedling Corn, Cotton, Soybean, and Wheat in the United States, *Journal of Integrated Pest Management*, 9(1), 18 pp.
- Smith, R. F., Smith, G. L. (1949). Supervised control of insects. *Calif Agr*, 3:3–12.
- Steffens, K., Larsbo, M., Moeys, J., Jarvis, N., Lewan, E. (2013). Predicting pesticide leaching under climate change: Importance of model structure and parameter uncertainty. *Agri. Ecol. Environ.* 172, 24–34.
- Steffens, K., Larsbo, M., Moeys, J., Jarvis, N., Lewan, E. (2013). Predicting pesticide leaching under climate change: Importance of model structure and parameter uncertainty. *Agri. Ecol. Environ.* 172 24–34.
- Syafrudin, M., Kristanti, R.A., Yuniarto, A., Hadibarata, T., Rhee, J., Al-onazi, W.A., Algarni, T.S., Almarri, A.H., Al-Mohaimeed, A.M., (2021). Pesticides in Drinking Water. A Review. *IJERPH* 18 (2), 468
- Tison, L., Beaumelle, L., Monceau, K., Thiery, D. (2023). Transfer and bioaccumulation of pesticides in terrestrial arthropods and food webs: State of knowledge and perspectives for research. *Chemosphere*, 357: 142036.

- Tudi M, Daniel Ruan H, Wang L, Lyu J, Sadler R et al. (2021). Agriculture development, pesticide application and its impact on the environment. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18: 31112.
- Wille, J. E. (1951). Biological Control of Certain Cotton Insects and the Application of New Organic Insecticides in Peru. *J Econ Entomol.* 44,13–18.