پژوهش و فناوری محیط‌زیست، ۱۴۰۳،(۱۶)۹، ۱-۱۸

زیست پژوهش و فناوری محیط

وبگاه نشریه: www.journal.eri.acecr.ir

پژوهشکده محیط زیست

شاپا الکترونیکی: ۲۶۷۶-۳۰۶۰

اثرات نامطلوب آفت‌کش‌ها بر محیط‌زیست و موجودات غیر هدف

بهاره رفیعی [۱]✉، حامد کیومرثی [۲]

۱- بخش تحقیقات گیاه‌پزشکی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

۲- بخش تحقیقات علوم دامی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مروری

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۱۱/۲۸

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۱/۲۸

دسترسی آنلاین:
۱۴۰۳/۱۰/۳۰

کلید واژه‌ها:
آفت‌کش،
محیط‌زیست،
زنجیره غذایی،
موجودات غیرهدف،
تجمع زیستی

چکیده

استفاده از آفت‌کش‌ها نقش مهمی در کشاورزی مدرن دارد و کاربرد اصولی آن‌ها سبب افزایش کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی می‌شود. همچنین، در کنترل ناقلین بیماری‌ها بسیار اهمیت دارند. با این حال، استفاده گسترده از سموم شیمیایی سبب نگرانی‌های روزافزون در خصوص اثرات منفی آن‌ها شده است. مصرف آفت‌کش‌ها می‌تواند باعث آلودگی منابع آبی و خاک شود، تجمع این ترکیبات در خاک منجر به اختلال در جوامع میکروبی و کاهش ارگانیسم‌های مفید می‌شود و با نفوذ به آب‌های زیرزمینی و سطحی، مخاطراتی را برای اکوسیستم‌های آبی ایجاد کند. رواناب از مزارع کشاورزی می‌تواند سموم را به آب‌های سطحی منتقل کند و بر موجودات آبزی و کیفیت آب تأثیر بگذارد و در نتیجه تجمع زیستی وارد زنجیره‌ی غذایی شوند. به‌علاوه، آلودگی‌هوا یکی از عواقب استفاده از سموم کشاورزی است. تبخیر سموم و عوامل محیطی، احتمال تماس موجودات غیر هدف و انتقال آن‌ها به مناطق دورتر از محل سم‌پاشی را فراهم می‌کند. بقایای آفت‌کش‌ها سبب اختلالات فیزیولوژیکی، ناهنجاری‌های ژنتیکی و بروز بیماری‌های مختلف در موجودات غیر هدف می‌شود و اختلال در تعادل اکولوژیکی و کاهش تنوع زیستی را در پی دارد. این مقاله، یک بررسی جامع از پیامدهای نامطلوب مصرف سموم شیمیایی بر اجزای مختلف اکوسیستم‌ها را ارائه می‌دهد و استراتژی‌های نوین برای مقابله با این چالش‌ها و ترویج شیوه‌های مدیریت آفت‌کش‌ها را مورد بحث قرار می‌دهد. این مقاله مروری با هدف تعمیق درک اثرات و خطرات مرتبط با استفاده از آفت‌کش‌ها تهیه شده‌است و امید است گامی به‌منظور کاهش آلودگی‌های محیط‌زیست و دستیابی به کشاورزی پایدار باشد.

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: rafiei.bahareh@gmail.com

Journal of Environmental Research and Technology, 9(16)2024. 1-18

Journal of Environmental Research and Technology

journal homepage: www.journal.eri.acecr.ir

Environmental Research institute

Online ISSN: 3060-2676

Adverse Effects of Pesticides on Environment and Non-target organisms

Bahareh Rafiei[1]✉, Hamed Kioumarsi[2]

1- Plant Protection Research Department, Guilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

2- Department of Animal Science Research, Guilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

Article Info

Article type:
Review Article

Article history:
Received:
2024/02/17
Accepted:
2024/04/16
Available online:
2025/01/19

Keywords:
Pesticide,
Environment,
Food chain,
Non-target organisms,
Bioaccumulation.

Abstract

The use of pesticides plays a crucial role in modern agriculture, and their proper application leads to an increase in the quality and quantity of agricultural products. They are also highly important in controlling disease vectors. However, the widespread use of chemical toxins has raised growing concerns regarding their negative effects. The consumption of pesticides can result in contamination of water and soil, accumulation of these compounds in the soil can disrupt microbial communities and reduce beneficial organisms, and their infiltration into groundwater and surface water can pose risks to aquatic ecosystems. Runoff from agricultural fields can transport toxins into surface waters, affecting aquatic organisms and water quality, and consequently, these toxins can bioaccumulate and enter the food chain. Air pollution is also one of the consequences of pesticide use. The volatilization of pesticides and environmental factors facilitate the possibility of contact with non-target organisms and their transfer to areas far from the spraying site. Residues of pesticides can cause physiological disorders, genetic abnormalities, and various diseases in non-target organisms, leading to disturbances in ecological balance and a reduction in biodiversity. This article provides a comprehensive review of the adverse consequences of chemical pesticide use on different components of ecosystems and discusses novel strategies to address these challenges and promote pesticide management practices. This review paper aims to deepen the understanding of the effects and hazards associated with pesticide use and hopes to take a step towards reducing environmental pollution and achieving sustainable agriculture.

* Corresponding author E-mail address: rafiei.bahareh@gmail.com

مقدمه

افزایش جمعیت جهان در قرن بیستم همواره با افزایش موازی در تولید محصولات کشاورزی همراه بوده است و بخش کشاورزی از نظر حفظ امنیت غذایی جوامع همواره مورد توجه بوده است (کلاوری[۱] و همکاران، ۲۰۲۳؛ کیومرثی[۲] و همکاران، ۲۰۰۹؛ کیومرثی و همکاران، ۲۰۱۱). تقریباً حدود یک سوم از محصولات کشاورزی جهان در مراحل داشت و برداشت و حتی انبارداری توسط آفات از بین می‌روند. میزان خسارت آفات در کشورهای توسعه نیافته از این هم بیشتر است (جوراسکه و همکاران، ۲۰۰۷). آفت‌کش‌ها نقش مهمی در کاهش آفات (حشرات، عوامل بیماری‌زا و علف‌های هرز) دارند به‌طوری که بدون کاربرد سموم دفع آفات، تولید میوه ۷۸ درصد، تولید سبزیجات ۵۴ درصد و تولید غلات ۳۲ درصد کاهش می‌یابد. بنابراین، سموم در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی و کاهش آفات بهداشتی در سراسر جهان نقش قابل توجهی دارند (تیودی[۳]، ۲۰۲۱). در برخی مطالعات گزارش شده‌است که بدون مصرف آفت‌کش‌ها، تا ۸۰ درصد از تولیدات کشاورزی می‌تواند از بین برود (دوتچ[۴] و همکاران، ۲۰۱۸؛ زو[۵] و همکاران، ۲۰۱۵). با توجه به این موضوع، محافظت از محصولات گیاهی یک بخش ضروری در سیستم تولید است که در نهایت منجر به افزایش محصول و در نتیجه تولید محصول بیشتر و با کیفیت بالاتر می‌شود، از این نظر اهمیت استفاده از سموم در کشاورزی به‌عنوان یکی از راه‌کارهای مبارزه روشن می‌شود (رفیعی[۶] و همکاران،۲۰۲۲؛ شارما[۷] و همکاران، ۲۰۱۹). به‌طور کلی پذیرفته شده‌است که آفت‌کش‌ها نقش مهمی در توسعه کشاورزی دارند زیرا می‌توانند از تلفات محصولات کشاورزی بکاهند و بازده و کیفیت محصولات را به‌صورت مقرون به صرفه‌ای، بهبود بخشند (ستراسمایر[۸] و همکاران، ۲۰۱۷؛ اکتر[۹] و همکاران، ۲۰۰۸). آفت‌کش‌ها، شامل گروه‌های مختلفی از کلره‌ها، ارگانوفسفره، کاربامات‌ها، پیرتروئیدها، علف‌کش‌های فنوکسی، علف‌کش‌های اسیدبنزوئیک، تری‌آزین‌ها و اوره است. این ترکیبات به‌عنوان حشره‌کش، قارچ‌کش، علف‌کش، نماتدکش و جونده‌کش‌ها به کار می‌روند (فاطما[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۸؛ کیم[۱۱] و همکاران، ۲۰۱۷؛ برناردز[۱۲] و همکاران، ۲۰۱۵).

تولید، کاربرد و استفاده‌ی دقیق از این ترکیبات، طیف گسترده‌ای از علوم شامل کشاورزی، سم‌شناسی، شیمی تجزیه، شیمی فرمولاسیون‌ها و باقی‌مانده‌ها، بیوشیمی سرنوشت آفت‌کش‌ها در گیاهان، حیوانات و محیط‌زیست، سمیت محیطی، بیوتکنولوژی و ارزیابی خطرات بقایا آفت‌کش‌ها را در بر می‌گیرد (وو[۱۳] و همکاران، ۲۰۲۲). سه‌میلیارد کیلوگرم آفت‌کش هر سال در سراسر جهان استفاده می‌شود (هیز[۱۴] و همکاران، ۲۰۱۷). در حالی که تنها یک درصد از کل آفت‌کش‌ها به‌طور مؤثر در کنترل آفات هدف نقش دارند (برناردز و همکاران، ۲۰۱۵). مقادیر زیادی از باقی‌مانده آفت‌کش‌ها در اکوسیستم‌های مختلف انتشار می‌یابند و موجودات غیر هدف را در معرض قرار می‌دهند. در نتیجه مصرف سموم می‌تواند سبب ایجاد اثرات نامطلوب بر سلامت انسان، موجودات غیر هدف و آلودگی محیط زیستی شوند (هرناندز[۱۵] و همکاران، ۲۰۱۳). در صورتی که کم‌خطرترین آفت‌کش به‌صورت صحیح و با مقدار توصیه شده مورد استفاده قرار گیرد و میزان کاربرد سموم با در نظر گرفتن هزینه‌ها و منافع حاصل از افزایش

---

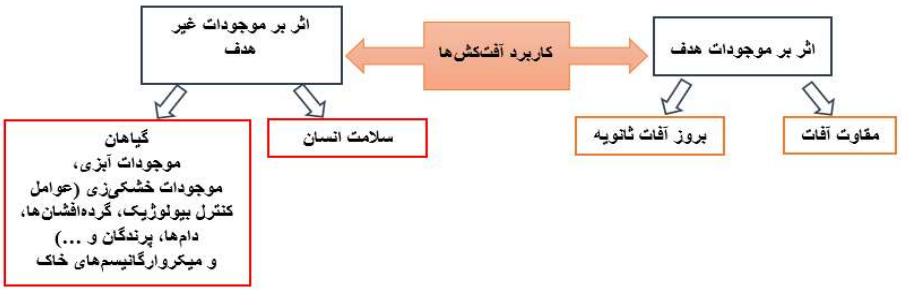
1. Kalavari
2. Kioumarsi
3. Tudi
4. Deutsch
5. Zhou
6. Rafiei
7. Sharma
8. Strassemeyer
9. Aktar
10. Fatma
11. Kim
12. Bernardes
13. Wu
14. Hayes
15. Hernández

عملکرد، بهینه‌سازی شود، این ترکیبات به‌عنوان یک ابزار کنترل، مقرون به صرفه و قابل‌اعتماد تبدیل می‌شوند و یکی از مؤثرترین ابزار در مدیریت تلفیقی کنترل آفات هستند (رفیعی و همکاران، ۲۰۲۲).

اهمیت اثرات نامطلوب آفت‌کش‌ها در این مطالعه مروری مورد بحث قرار گرفته است. همچنین، به استراتژی‌های کاهش باقی‌مانده سموم و شناسایی چالش‌ها پرداخته شده‌است. در این راستا منابع و مقالات علمی از پایگاه‌های داده PubMed، Science Direct، Scopus، Google Scholar، Taylor & Francis وBioMed، با استفاده از کلمات کلیدی "بقایای آفت‌کش‌ها"، "اثرات نامطلوب آفت‌کش‌ها بر سلامت انسان"، "آلودگی محیط زیستی آفت‌کش‌ها"، "تشخیص و اندازه‌گیری بقایای آفت‌کش"، "تجزیه آفت‌کش‌ها"، "استراتژی‌های کاهش مصرف سموم" جمع آوری شده است.

اثرات نامطلوب آفت‌کش‌ها بر موجودات زنده

قرار گرفتن در معرض آفت‌کش‌ها اجتناب‌ناپذیر است (ادواردز و مایرز[1] ، ۲۰۰۷). تمامی موجودات زنده در اکوسیستم‌ها، تحت‌تأثیر سموم قرار دارند و این ترکیبات در بدن موجودات زنده سرنوشت متفاوتی دارد (شکل ۱). برخی آفت‌کش‌ها تجزیه و دفع می‌شوند و برخی به متابولیت‌های خطرناک‌تر تبدیل می‌شوند. بعضی هم به‌وسیله آنزیم‌ها فعال و به مواد سرطان‌زا تبدیل می‌شوند (لوشچاک[2] و همکاران، ۲۰۱۸).



شکل(۱) آثار آفت‌کش‌ها بر موجودات هدف و غیر هدف (اصلی)

باقی‌مانده آفت‌کش‌ها در زنجیره‌ی غذایی

آلودگی موجودات زنده از حلقه‌ی اول زنجیره‌ی غذایی (گیاهان) شروع می‌شود. گیاهان می‌توانند سموم موجود را از طریق اندام‌های هوایی و ریشه جذب و آن‌ها را در خود انباشته کنند و سایر حلقه‌های زنجیره‌ی غذایی را آلوده کنند. آفت‌کش‌ها سبب سمیت ژنی و سمیت سلولی گیاهان می‌شوند و مصرف این ترکیبات، در سیستم آنتی اکسیدانی آن‌ها اختلال ایجاد می‌کند (شفیق[3] و همکاران، ۲۰۲۰).

آفت‌کش‌ها می‌توانند باعث کلروز، نکروز، پیچ‌خوردگی برگ‌ها و اختلال در فتوسنتز شوند. علاوه بر این، بسیاری از مطالعات نشان داده است، گروه‌های مختلف آفت‌کش‌ها منجر به سرکوب متابولیسم نیتروژن، افزایش و اختلال در عملکرد آنزیم‌ها و علاوه بر این، تغییر رنگدانه‌های برگ و اختلال در رشد میوه می‌شوند (النگباوی[4] و همکاران، ۲۰۲۱).

آفت‌کش‌هایی که قابلیت حل شدن در چربی را دارند در بافت‌ها تجمع می‌یابند و با ذخیره شدن در سلول‌ها باعث بروز اختلالات فیزیولوژیکی در اعمال متابولیسم سلول می‌شوند و جریان تولید انرژی را مختل می‌کنند (حسن و نمر[5] و همکاران، ۲۰۱۸). بسیاری از آفت‌کش‌ها در زنجیره‌ی غذایی تثبیت می‌شوند. سمومی که از این طریق وارد بدن موجودات زنده می‌شود، انباشته

[1]. Edwards & Myers
[2]. Lushchak
[3]. Shafeequ
[4]. Alengebawy
[5]. Hassaan & Nemr

شده و پس از مدتی اثرات سوء خود را نمایان می‌سازند. میزان جمع شدن ترکیبات شیمیایی در بافت‌های بدن موجودات زنده را تجمع زیستی[۱] گویند (ری و شاجو[۲] و همکاران، ۲۰۲۳). فرآیند تجمع زیستی می‌تواند زمانی شروع شود که سموم دفع آفات به جریان رودخانه‌ها و در نهایت به اقیانوس‌ها راه یابند و ماهی‌ها این ترکیبات را از طریق آبشش‌ها و فلس‌هایشان در بافت چربی ذخیره کنند. موجودات مصرف‌کننده در سطوح بالایی تغذیه (ماهی‌های بزرگ) از سطوح پایینی (ماهی‌های کوچک) تغذیه می‌کنند، آفت‌کش‌ها در زنجیره غذایی تجمع می‌یابد و در نهایت از طریق زنجیره‌ی غذایی وارد بدن انسان می‌شوند (موریا و مالک[۳] و همکاران، ۲۰۱۶). زمانی که راه عمده‌ی جذب سموم از طریق مواد غذایی باشد، ترکیبات پایدار در زنجیره‌ی غذایی تجمع می‌یابد و میزان سموم در بدن موجودات زنده چند برابر میزان آن ماده در غذا باشد، پدیده بزرگ‌سازی زیستی[۴] روی می‌دهد (شکل ۲). موجود زنده زمانی که برای مدت طولانی در معرض آفت‌کش با غلظت تقریباً ثابت، از طریق مواد غذایی و یا محیطی که او را احاطه کرده است، قرار گیرد، غلظت این مواد در بافت‌های بدن او افزایش یافته و می‌تواند به غلظت کشنده برسد و موجود را تلف کند و یا به‌حالت تعادل برسد که در آن حالت سرعت ورود با سرعت دفع آفت‌کش برابر است (طالبی جهرمی[۵]، ۲۰۰۷؛ مان[۶] و همکاران، ۲۰۱۱). این ترکیبات پایدار غلظت‌شان در بافت‌های موجوداتی که در بالاترین سطوح غذایی هرم اکولوژیکی قرار دارند، می‌توانند ۱۰[۵] برابر بیشتر از غلظت آن‌ها در موجوداتی که در سطوح پایین‌تر هرم قرار دارند، باشد (آلوا و گوباس[۷]، ۲۰۱۲).

آفت‌کش‌ها با توجه به قابلیت انحلال در توده‌های زیستی، پایدارند و تجمع آن‌ها سبب تغییرات رادیکال‌های فعال اکسیژن می‌شود که استرس اکسیداتیو و مرگ سلولی را در پی دارد (شفیق و همکاران، ۲۰۲۰). به‌دلیل تجمع زیستی مواد سمی در بافت‌ها و اندام‌های مختلف، گاهی غلظت آفت‌کش‌ها در موجودات آبزی چندین برابر بیشتر از اکوسیستم است (کائور و جیندال[۸]، ۲۰۱۷). برخی از سموم در بدن آبزیان ذخیره می‌شوند و بیش از آنچه در طبیعت موجود است، تغلیظ می‌شوند و در نهایت به زنجیره‌ی غذایی وارد می‌شوند. تغلیظ زیستی[۹] نتیجه توأم جذب و دفع مواد شیمیایی از محیط اطراف است و میزان آن به عوامل مختلف فیزیکوشیمیایی آفت‌کش بستگی دارد (ری و شاجو و همکاران، ۲۰۲۳).

شکل (۲) تجمع زیستی و بزرگ‌سازی زیستی (اصلی)

---

1. Bioaccumulation
2. Ray & Shaju
3. Maurya & Malik
4. Biomagnification
5. Talebi Jahromi
6. Mann
7. Alava & Gobas
8. Kaur and Jindal
9. Bioconcenteration

تأثیر باقی‌مانده آفت‌کش‌ها بر سلامت انسان

تولیدکنندگان آفت‌کش‌ها، کشاورزان، مصرف‌کنندگان محصولات کشاورزی در معرض غلظت‌های مختلف آفت‌کش‌ها قرار دارند (لو[1] همکاران، ۲۰۱۶). معمولاً آفت‌کش‌ها از طریق گردش خون در سراسر بدن انسان منتقل می‌شوند. سمیت آفت‌کش‌ها بر اساس نوع، میزان دوز و مدت زمان در معرض قرار گرفتن آن‌ها متفاوت است (کیم. همکاران، ۲۰۱۷). انتقال از طریق زنجیره‌ی غذایی مهم‌ترین راه انتقال آفت‌کش‌ها به بدن موجودات زنده و انسان است (ری و شاجو و همکاران، ۲۰۲۳). شدت اثرات زیان‌آور آفت‌کش‌ها از طریق رژیم غذایی به عواملی همچون میزان دوره و سطح قرار گرفتن در معرض، نوع آفت‌کش (با توجه به سمیت و ماندگاری)، مکانیزم جذب، پخش، متابولیسم، دفع و شرایط تغذیه‌ای بستگی دارد (کیم. همکاران، ۲۰۱۷؛ النگباوی و همکاران، ۲۰۲۱). این عواقب بسته به نوع و میزان سم به دو صورت مسمومیت حاد و مزمن بروز می‌کند (بودکار[2] و همکاران، ۲۰۲۰). مسمومیت حاد[3] زمانی ایجاد می‌شود که شخص در معرض یک دز بالا از سموم قرار گیرد. شدت مسمومیت با توانایی ماده شیمیایی و نیز چگونگی تماس و یا راه ورود ماده‌ی سمی به داخل بدن مرتبط است و مسمومیت مزمن[4] در نتیجه تماس طولانی شخص با دز پایین ماده سمی رخ می‌دهد (طالبی جهرمی، ۲۰۰۷). تمام افراد جامعه در معرض مسمومیت‌های مزمن آفت‌کش‌ها، از طریق بقایای این ترکیبات قرار دارند. این نوع مسمومیت در اثر مصرف متوالی مقادیر کم و یا جزئی باقی‌مانده آفت‌کش‌ها در مواد غذایی در مدت زمان طولانی در افراد ایجاد می‌شود. آثار این گونه مسمومیت‌ها به کندی و پس از گذشت زمان نسبتاً طولانی ظاهر می‌شود (کیم و همکاران، ۲۰۱۷).

مطالعات نشان داده است قرار گرفتن در معرض آفت‌کش‌ها سبب اختلال در واکنش‌های فیزیولوژیک، ایجاد ناهنجارهای ژنتیکی در ژن‌ها و کروموزوم‌ها، بروز مشکلات در غدد درون‌ریز، تولید مثل و باروری، سقط‌جنین، عوارض پوستی و عصبی، اختلالات رفتاری، نقایص مادرزادی و بروز انواع تومور و سرطان شوند (او[5] و همکاران، ۲۰۱۸؛ لیزینگ[6] و همکاران، ۲۰۲۳). درک مولکولی مکانیسم چگونگی تأثیر آفت‌کش‌ها بر سلامت انسان بسیار مهم است. آفت‌کش‌ها فعالیت هورمون‌های غدد درون‌ریز را مهار می‌کنند (کبیر[7] و همکاران، ۲۰۱۵). به‌طور همزمان، باعث تغییر عملکرد سیستم ایمنی و بروز انواع سرطان می‌شود (گری[8] و همکاران، ۲۰۰۴). اختلالات ژنتیکی که توسط آفت‌کش‌ها ایجاد می‌شود، به‌طور کلی به سه گروه اصلی ۱) آسیب‌های پیش از جهش‌زایی مانند شکستن رشته‌های DNA (گروور[9] و همکاران، ۲۰۰۳)، ترکیب‌های افزایشی DNA (پلوسو[10] و همکاران، ۱۹۹۶)، ۲) جهش‌های ژنی، مانند حذف‌ها، وارونگی‌ها، و جابه‌جایی (ادواردز و مایرز[11] ، ۲۰۰۷)، ۳) ناهنجاری‌های کروموزومی، از جمله از دست دادن یا افزایش کل کروموزوم (آنئوپلوئیدی)، حذف یا شکستگی (کلاستوژنیسیته)، و بازآرایی‌های کروموزومی، تقسیم می‌شود (کربنل[12] و همکاران، ۱۹۹۳؛ النگباوی و همکاران، ۲۰۲۱). تغییرات ژنتیکی ناشی از قرار گرفتن در معرض آفت‌کش‌ها در پلی‌مورفیسم‌هایی که منجر به تغییر میل ترکیبی با لیگاند یا تغییر در بیان ژن‌های هدف پایین دست آن می‌شود، بروز پیدا می‌کند (دانگ[13] و همکاران، ۲۰۰۸). مطالعات، رابطه بین مصرف آفت‌کش‌ها و افزایش بروز سرطان را به وضوح نشان‌می‌دهد. بدخیمی‌هایی نظیر نوروبلاستوما، لوسمی، سارکوم بافت نرم، لنفوم بورکیت، لنفوم غیر هوچکین، تومور ویلمز، سرطان ریه در

---

1. Luo
2. Boedeker
3. Acute toxicity
4. Chronic toxicity
5. Ogg
6. Laessig
7. Kabir
8. Garry
9. Grover
10. Peluso
11. Edwards and Myers
12. Carbonell
13. Dong

نتیجه در معرض قرار گرفتن آفت‌کش‌ها رخ می‌دهد (نیه[1] و همکاران، ۲۰۰۷؛ پلانکو رودریگرز[2] و همکاران، ۲۰۱۷). مطالعات اپیدمیولوژیک نقش آفت‌کش‌ها در شروع بیماری پارکینسون را نشان‌می‌دهد. ارتباط بین پارکینسون و استفاده از آفت‌کش‌هایی مانند علف‌کش‌ها (پاراکوات)، حشره‌کش‌ها (ارگانوفسفره‌ها و روتنون) و قارچ‌کش‌ها (سیپرودینیل، فن‌هگزامید و تیوفانات-متیل) به اثبات رسیده است (بروور[3] و همکاران، ۲۰۱۷). چندین مطالعه اپیدمیولوژیک و بالینی ارتباط بین سمیت آفت‌کش‌ها و واکنش‌های آلرژیک و آسم را ثبت کرده‌اند. قرار گرفتن در معرض آفت‌کش‌ها ممکن است منجر به تشدید التهاب، تحریک و یا سرکوب سیستم ایمنی شوند (هرناندز و همکاران، ۲۰۱۳؛ آمارال[4]، ۲۰۱۴). شواهد علمی نشان‌می‌دهد، احتمال بروز دیابت در افرادی که در معرض سموم قرار می‌گیرند افزایش می‌یابد. آفت‌کش‌ها، به‌ویژه کلره‌ها و متابولیت‌های آن‌ها، خطر ابتلا به دیابت نوع ۲ و بیماری‌های همراه آن را افزایش می‌دهند (ازانجمه[5] و همکاران، ۲۰۱۳).

تأثیر باقی‌مانده آفت‌کش‌ها بر موجودات غیر هدف

بقایای سموم موجود در علوفه و خوراک دام‌ها، همچنین استفاده مستقیم از حشره‌کش‌ها و ضدعفونی‌کننده‌ها در پرورش دام‌ها برای کنترل ناقلین بیماری‌ها، می‌تواند سبب تجمع این ترکیبات در بافت‌های حیوان شود و در نهایت سلامت دام را تهدید کنند، همچنین از طریق زنجیره‌ی غذایی با مصرف دام و فرآورده‌های دامی می‌تواند سلامت افراد جامعه را به خطر بیندازد. فوزالون و دیازینون دو سم رایج از گروه ارگانوفسفره‌ها هستند که برای کنترل بسیاری از آفات علوفه‌ای در اکثر مناطق به کار برده می‌شوند. با توجه به عواقب مصرف این ترکیبات در بخش دامپروری، کاهش مصرف سموم در این بخش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (بوسادیا[6] و همکاران، ۲۰۲۲).

کاهش تنوع و فراوانی گونه‌ها یکی از اثرات جانبی مهم آفت‌کش‌ها است. مطالعات نشان داده است، آلودگی آفت‌کش‌ها، تنوع و فراوانی طیف گسترده‌ای از موجودات از جمله آبزیان آب شیرین و گونه‌های خاکزی را کاهش می‌دهد (بوملت[7] و همکاران، ۲۰۲۳؛ ریلیا[8] و همکاران، ۲۰۰۵). این ترکیبات، سبب حذف افراد با ژنو تیپ حساس و سلطه گونه‌های مقاوم می‌شوند (ایتو[9] و همکاران، ۲۰۲۰). اثرات نامطلوب آفت‌کش‌ها بر آبزیان با تهدید منابع غذایی آن‌ها مانند پلانکتون‌ها و جلبک‌ها به‌صورت غیرمستقیم نمایان می‌شود (حسن و نمر و همکاران، ۲۰۱۸). تجمع آفت‌کش‌ها سبب آسیب عصبی، فیزیولوژیک و هماتولوژیک، اختلال غدد درون‌ریز، آسیب DNA، آپوپتوز و پراکسیداسیون لیپیدی می‌شود که استرس اکسیداتیو آبزیان را در پی دارد. قرار گرفتن در معرض آفت‌کش‌ها همچنین بر رشد، تولید مثل، رفتار و عملکرد این موجودات تأثیرگذار است (سابرامانیام[10] و همکاران، ۲۰۲۳). آفت‌کش‌ها، اثرات کشنده و زیر کشنده بر ارگانیسم‌های غیر هدف دارند و جمعیت‌های دشمنان طبیعی و گرده‌افشان‌ها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. این ترکیبات سبب کاهش زادآوری و بقا این موجودات می‌شوند. با کاهش جمعیت عوامل کنترل بیولوژیک که اغلب نسبت به سموم حساس‌تر هستند، احتمال طغیان آفات افزایش می‌یابد و کشاورزان مصرف سموم را افزایش می‌دهند و این چرخه معیوب ادامه می‌یابد (اورتون[11] و همکاران، ۲۰۲۳؛ ملک‌زاده[12] و همکاران، ۲۰۲۲).

گرده‌افشان‌ها، تأثیر زیادی بر جنبه‌های اکولوژیکی، حفظ و پایداری اکوسیستم، تنوع زیستی و تنوع ژنتیکی در جامعه گیاهی دارند. این سموم نقش مهمی در انقراض جمعی کلنی گرده‌افشان‌ها که گونه‌های اقتصادیند، دارند. مطالعات نشان داده است که

---

1. Nie
2. Polanco Rodríguez
3. Brouwer
4. Amaral
5. Azandjeme
6. Boussadia
7. Beaumellet
8. Relyea
9. It
10. Subaramaniyam
11. Overton
12. Malekzadeh

این ترکیبات شیمیایی بر سیستم عصبی، جهت‌یابی، زادآوری و سیستم ایمنی گرده‌افشان‌ها تأثیرگذارند. در طول دو دهه گذشته، کاهش نگران‌کننده‌ی تعداد کلنی‌های زنبور عسل ایجاد شده‌است. این پدیده اختلال فروپاشی کلونی نام دارد که می‌تواند نقش قابل توجهی در کاهش محصولات کشاورزی ایفا کند (تولچینسکی[۱] ، ۲۰۱۰؛ لسکا[۲] و همکاران، ۲۰۲۱).

مصرف بی‌رویه آفت‌کش‌ها می‌تواند افراد با ژنو تیپ حساس در جمعیت آفت را حذف کند و افراد مقاوم بدون رقابت به تکثیر ادامه دهند، در نهایت در طول نسل‌ها این افراد به بخش غالب جمعیت تبدیل می‌شوند، در این حالت آفت‌کش دیگر مؤثر نیست و در نتیجه بروز یا توسعه مقاومت به آفت‌کش‌ها روی می‌دهد (موریا و مالک[۳] و همکاران، ۲۰۱۶).

اثرات نامطلوب آفت‌کش‌ها در محیط‌زیست

آفت‌کش‌ها به‌طریق مستقیم و غیر مستقیم وارد محیط‌زیست می‌شوند. آفت‌کش‌ها پس از کاربرد، این پتانسیل را دارند در محیط‌زیست، تحت فرآیندهایی مانند انتقال (یا حرکت) شامل جذب، شستشو، تبخیر، بادبردگی و رواناب قرار می‌گیرند (سینگ[۴]، ۲۰۱۲؛ لیو[۵] و همکاران، ۲۰۱۵). ترکیبات شیمیایی مختلف آفت‌کش‌ها سبب می‌شود، سرنوشت‌های مختلفی در اکوسیستم‌های مختلف داشته‌باشند. به‌عنوان مثال، ترکیبات آلی کلره مانند DDT سمیت حاد کمی دارند اما توانایی قابل توجهی در تجمع در بافت‌ها و ایجاد آسیب طولانی مدت دارد و بقایای آن‌ها برای مدت طولانی در محیط‌زیست باقی می‌ماند. در حالی که آفت‌کش‌های ارگانوفسفره ماندگاری کمی دارند، اما سمیت حاد قابل توجهی برای پستانداران دارند (کیم و همکاران، ۲۰۱۷؛ دالماس[۶] و همکاران، ۲۰۱۱).

بخش عمده یک آفت‌کش پس از سمپاشی به‌شکل قطرات ریز در هوا در می‌آید و هرگز با گیاه تماس پیدا نمی‌کند. بخش دیگری از آن نیز به واسطه‌ی تعرق از سطح گیاهان تبخیر می‌شود که این نیز به میزان آلودگی‌هوا می‌افزاید. میران آلودگی‌هوا به آفت‌کش‌ها به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آفت‌کش، دمای هوا و سرعت باد بستگی دارد. بالاترین غلظت آفت‌کش‌ها در هوا در اواسط روز یعنی زمانی که دمای هوا به بالاترین مقدار خود می‌رسد، یافت می‌شود (ژانگ[۷] و همکاران، ۲۰۲۰؛ فرهان[۸] و همکاران، ۲۰۲۰).

تبخیر آفت‌کش‌ها، می‌تواند آن‌ها را نقاط دور از سطح تیمار شده حمل کند (سینگ، ۲۰۱۲). برخی عوامل مهم از جمله فشار بخار، دما، رطوبت، وزش باد و شرایط خاک مانند بافت، میزان مواد آلی و رطوبت، سطح تبخیر آفت‌کش را تعیین می‌کنند (کامل[۹] ، ۲۰۰۵؛ الامدار[۱۰] ، ۲۰۱۴؛ زو[۱۱] و همکاران، ۲۰۱۷).

مصرف سموم آفت‌کش‌ها می‌تواند، منجر به آلودگی شدید خاک شود و به ذرات آن جذب شوند (ژو[۱۲] و همکاران، ۲۰۰۶؛ شین[۱۳] و همکاران، ۲۰۱۴). فرآیند جذب، پدیده‌ای است که آفت‌کش‌ها را به‌دلیل جاذبه بین مواد شیمیایی به ذرات خاک متصل می‌کند (لیو[۱۴] و همکاران، ۲۰۱۰؛ بوسکوویچ[۱۵] و همکاران، ۲۰۲۰). عوامل مختلفی از جمله Ph، میزان مواد آلی (یو[۱۶] و همکاران، ۲۰۱۷؛

---

1. Tulchinsky
2. Leska
3. Maurya & Malik
4. Singh
5. Liu
6. Damalas
7. Zhang
8. Farhan
9. Connell
10. Alamdar
11. Zue
12. Xue
13. Qin
14. Lue
15. Boškovi´c
16. Yue

دانگ[۱] و همکاران، ۲۰۱۳؛ رن[۲] و همکاران، ۲۰۱۱) و ساختار خاک (سی[۳] و همکاران، ۲۰۰۶) بر فرآیند جذب خاک تأثیر گذارند. خاک‌های غنی از مواد آلی یا خاک رس بیشتر آفت‌کش‌ها را جذب می‌کنند. برخی از آفت‌کش‌ها ماندگاری طولانی در خاک دارند و گیاهان این ترکیبات را جذب می‌کنند (گائو[۴] و همکاران، ۲۰۰۸؛ دوان[۵] و همکاران، ۲۰۰۸؛ لوزوویکا[۶] و همکاران، ۲۰۱۵). مقادیر زیادی از سموم دفع آفات در سراسر جهان به آب‌های زیرزمینی نفوذ پیدا می‌کند و سبب آلودگی آب می‌شود (سینگ، ۲۰۱۲؛ فونتانا[۷] و همکاران، ۲۰۱۰). آبشویی آفت‌کش‌ها تحت‌تأثیر چند عامل از جمله حلالیت و میزان نفوذپذیری خاک قرار دارد (هان[۸] و همکاران، ۲۰۱۲، کامل، ۲۰۰۵). هرچه نفوذپذیری خاک بیشتر باشد، پتانسیل آبشویی آفت‌کش‌ها در خاک بیشتر می‌شود. ضریب جذب خاک (Koc) و نیمه عمر (DT_{50}) در خاک بر شستشوی آفت‌کش‌ها تأثیر دارد (کامل، ۲۰۰۵). علاوه بر این، سطح آبشویی آفت‌کش به ماندگاری آفت‌کش در محیط نیز بستگی دارد. حشره‌کشی با ماندگاری کم احتمال آبشویی کمتری دارد (گنگ[۹] و همکاران، ۲۰۱۷). برای مثال، ایمیداکلوپرید یک آفت‌کش پایدار است و نیمه عمر آن در خاک، ۱۸۷ روز است. تغییرات آب و هوایی از جمله میزان بارندگی سالانه و میانگین دمای سالانه، از عوامل اصلی تأثیرگذار بر آبشویی آفت‌کش‌ها می‌باشد (سینگ، ۲۰۱۲). بارش یک عامل کلیدی، بر میزان آبشویی آفت‌کش‌ها به آب‌های زیرزمینی است (لابیت[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این، دما بر تبخیر و تعرق خاک بر آبشویی آفت‌کش تأثیر گذارند. بافت خاک مهم‌ترین عاملی است که بر حرکت آفت‌کش در خاک تأثیر می‌گذارد. خواص خاک مانند بافت خاک و محتوای آلی خاک بر نفوذ آب تأثیر می‌گذارد و انتقال آفت‌کش‌ها به آب‌های زیرزمینی را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (کامل، ۲۰۰۵؛ سیجم[۱۱] و همکاران، ۲۰۰۷؛ او[۱۲] و همکاران، ۲۰۲۰). علاوه بر این، میکروارگانیسم‌های بی‌هوازی خاک، مواد آلی و pH به‌عنوان عوامل مهم مؤثر در تجزیه سموم گزارش‌شده‌اند (گنگ و همکاران، ۲۰۱۷).

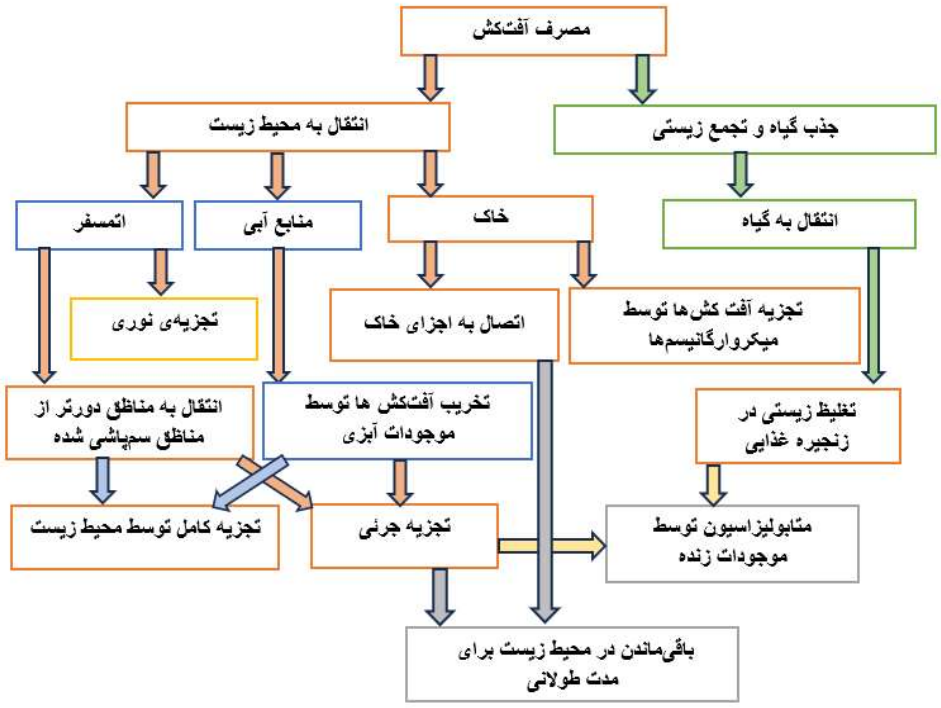
مسئله آلودگی آب بسیار پیچیده‌تر از آلودگی‌هوا و خاک می‌باشد. زیرا بسیاری از مواد جامد می‌توانند در آب حل شوند و یا به‌صورت معلق در آمده و به نقاط دوردست برده شوند. آفت‌کش‌ها به‌صورت ترکیبات محلول در آب یا چسبیده به ذرات خاک در حال فرسایش، حرکت می‌کنند. رواناب زمانی ایجاد می‌شود که سرعت آب اضافه شده به یک مزرعه آنقدر سریع باشد، که نتواند جذب خاک شود (کامل و همکاران، ۲۰۰۵؛ داس[۱۳] و همکاران، ۲۰۲۰). رواناب آفت‌کش‌ها منجر به آلودگی نهرها، دریاچه‌ها و چاه‌ها می‌شود (شین و همکاران، ۲۰۱۴؛ اکتر[۱۴] و همکاران، ۲۰۰۸).

تجزیه آفت‌کش‌ها

عوامل مختلفی باعث تجزیه و یا تغییر حالت سموم آفت‌کش می‌شوند. عوامل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک به‌عنوان سه عامل اساسی شناسایی‌شده‌اند. تجزیه یک آفت‌کش تحت‌تأثیر عوامل ذکر شده به نحوه‌ی مصرف آفت‌کش و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن بستگی دارد (ماریا[۱۵] و همکاران، ۲۰۱۷). این ترکیبات توسط عوامل میکروبی، واکنش‌های شیمیایی یا نور تجزیه می‌شوند (تیودی و همکاران، ۲۰۲۱). در برخی موارد آفت‌کش‌ها با واکنش‌های هیدرولیز، اکسیداسیون و احیا شکسته می‌شوند

1. Dong
2. Ren
3. Si
4. Gao
5. Duan
6. Lozowicka
7. Fontana
8. Han
9. Geng
10. Labite
11. Sijm
12. Ou
13. Das
14. Aktar
15. Maria

و به ترکیبات غیر سمی تبدیل می‌شوند و گاهی، واکنش‌ها سبب سمی‌تر شدن ترکیب اولیه سموم می‌شوند (طالبی جهرمی، ۲۰۰۷). بسته به شرایط محیطی و ویژگی‌های شیمیایی آفت‌کش، تجزیه آن، از ساعت‌ها تا روزها یا حتی سال‌ها ممکن است طول بکشد (تیساشیک[۱] و همکاران، ۲۰۱۸؛ وو[۲] و همکاران، ۲۰۱۸). فرآیندهای تجزیه‌ی آفت‌کش‌ها، ماندگاری متابولیت‌های مختلف سموم در خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند (طارق و نثار[۳]، ۲۰۱۸). همچنین، مفهوم نیمه عمر آفت‌کش‌ها را در محیط‌زیست ارائه می‌دهد (ماریه[۴] و همکاران، ۲۰۱۷). به‌عنوان مثال، آفت‌کش کلرپیریفوس، متابولیت اصلی آن پس از تجزیه، ۳، ۵، ۶- تری کلرو-۲- پیریدینول (TCP) است که بسیار متحرک‌تر و سمی‌تر از کلرپیریفوس است (ژائو[۵] و همکاران، ۲۰۱۶). کلرپیریفوس و محصولات حاصل از تجزیه آن اغلب در خاک، رسوبات و آب‌های زیرزمینی در بسیاری از مناطق شناسایی‌شده‌اند (یوای[۶] و همکاران، ۲۰۱۷). تجزیه میکروبی آفت‌کش‌ها توسط میکروارگانیسم‌هایی مانند قارچ‌ها و باکتری‌ها صورت‌می‌گیرد (هان و همکاران، ۲۰۱۲). عوامل محیطی از جمله اکسیژن، دما، رطوبت خاک، pH و ساختار خاک بر تجزیه میکروبی آفت‌کش‌ها تأثیر می‌گذارد (سوء[۷] و همکاران، ۲۰۱۶؛ کیان[۸] و همکاران، ۲۰۱۷). طیف گسترده‌ای از باکتری‌ها از جمله آلکالیژنز، فلاووباکتریوم، سودوموناس و رودوکوکوس، آفت‌کش‌ها را متابولیزه می‌کنند (آیسلبی و لوید جونز[۹]، ۱۹۹۵).



شکل (۳) سرنوشت آفت‌کش‌ها در محیط‌زیست پس از مصرف (اصلی)

مسیر اصلی تجزیه نیکوزامید در محیط، میکروارگانیسم‌های هوازی و بی‌هوازی است که توانایی بالایی در تجزیه این ترکیب دارند (لو[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۸).

---

1. Tcaciuc
2. Wu
3. Tariq & Nisar
4. Marie
5. Zhao
6. Yue
7. Su
8. Qian
9. Aislabie & Lloyd-Jones
10. Luo

استراتژی‌های کاهش باقی‌مانده آفت‌کش‌ها

آلودگی و آثار نامطلوب آفت‌کش‌ها یکی از چالش‌های مهم محیط زیستی است که امروزه تغییرات آب و هوایی به‌دلیل افزایش هجوم آفات، بر این مشکل دامن زده است که خطر وجود باقی‌مانده آفت‌کش‌ها در محصولات کشاورزی، تهدید موجودات غیر هدف و آلودگی‌های محیط زیستی را در پی دارد. زیست‌شناسی و اکولوژی حشرات آفات، به ویژه‌ی گونه‌های مهاجم، تحت‌تأثیر، متغیرهای آب و هوایی قرار دارد و می‌تواند مشکل خسارت آفات در فرآیند تولید، پر رنگ‌تر کند و چالش بزرگی برای امنیت غذایی در سراسر جهان ایجاد کند، همچنین مصرف سموم را بیش از پیش افزایش دهد (اسکندژیک[1] و همکاران، ۲۰۲۱؛ رفیعی و همکاران، ۲۰۲۳). توسعه روش‌های مدیریت تلفیقی آفات (IPM)[2] در چارچوب مفهوم کشاورزی پایدار، راه‌کاری مؤثر برای کاهش اثرات نامطلوب سموم شیمیایی است (کیم و همکاران، ۲۰۱۷). مدیریت تلفیقی آفات رویکردی است که با ترکیب روش‌های مختلف کنترل، به‌دنبال مدیریت بلندمدت آفات و کاهش استفاده از حشره‌کش‌ها است. این روش مبتنی بر نظارت و پایش جمعیت دائم آفات، کنترل زیستی آفات (شکارگر، پارازیت‌ها و پارازیتوئیدها)، استفاده از روش‌های کنترل زراعی (تناوب محصول، کشت ارقام مقاوم،...)، استفاده از روش‌های فیزیکی و در نهایت کنترل شیمیایی فقط در صورت لزوم و به‌صورت هدفمند است (اورتون و همکاران، ۲۰۲۳؛ دگوین[3] و همکاران، ۲۰۲۱). در صورتی که روش‌های مختلف مبارزه و مدیریت آفات در غالب یک برنامه مشخص و هدفمند اعمال شوند، آفت‌کش‌ها به یک سلاح کارآمد، مقرون به صرفه و مؤثر در سیستم‌های تولید محصولات کشاورزی تبدیل می‌شوند (النگباوی و همکاران، ۲۰۲۱).

تولید و طراحی آفت‌کش‌های کم‌خطر، مؤثر و سازگار با محیط‌زیست (EcoSMART)، که به‌سرعت تجزیه می‌شوند و باقی‌مانده کمتری در محیط به‌جای می‌گذارند، روش دیگری برای مقابله با چالش اثرات نامطلوب سموم شیمیایی است، این ترکیبات در دوزهای بسیار کم، مؤثر هستند و به‌صورت انتخابی در کنترل آفات عمل می‌کنند و برای گونه‌های غیر هدف، سمی نیستند (یومتسو و شیرای[4]، ۲۰۲۰). آفت‌کش‌های زیستی (Biopesticide)، جایگزین مناسبی برای سموم شیمیایی هستند. این آفت‌کش‌ها که شامل میکروارگانیسم‌های زنده یا فرآورده‌های آن‌ها می‌باشند، به‌عنوان جزئی از برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات محسوب می‌شوند (گلار[5] و همکاران، ۲۰۱۲).

تولید محصولات مقاوم به آفات از طریق انتقال ژن و کشت گیاهان دارای پروتئین‌های سمی و مهارکننده‌های آنزیم‌های آفات، نقش بسیار مهمی در به‌کارگیری کنترل شیمیایی دارد (رفیعی و همکاران، ۲۰۱۸ ؛ گیتهاوس[6] و همکاران، ۲۰۱۱). تولید گیاهان بیان‌کننده‌ی ژن لکتین و انواع مختلف مهارکننده‌های پروتئاز، می‌تواند راه‌کاری برای کاهش خسارات آفات باشد (امیری[7] و همکاران، ۲۰۱۹؛ رفیعی و همکاران، ۲۰۱۶). کشت این محصولات، استفاده از مواد شیمیایی و در نهایت اثرات منفی کاربرد آن‌ها را کاهش می‌دهد (تیودی و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین تکنیک‌های RNAi[8] و Crispr -Cas 9 راه‌کارهای جدیدی برای مقابله با آفات ارائه می‌دهد (باستان و رفیعی، ۲۰۲۰). با استفاده از تکنیک RNAi بیان ژن‌های هدف کاهش می‌یابد و با تغییر ویژگی‌های خاصی در گیاه سبب القای مقاومت نسبت آفات می‌شود (کاساکوئرتا[9] و همکاران، ۲۰۱۵).

برای مقابله با آفات، استفاده مناسب از خدمات فناوری اطلاعات در کاهش میزان مصرف و افزایش بهره‌وری آفت‌کش‌ها جایگاه ویژه‌ای دارد. استفاده از فناوری‌ها و تجهیزات دقیق برای سم‌پاشی می‌تواند سبب کاهش پراکندگی این ترکیبات و کاهش تأثیر

---

1. Skendžić
2. Integrated Pest Management
3. Deguine
4. Umetsu & Shirai
5. Glare
6. Gatehouse
7. Amiri
8. RNA interference
9. Casacuerta

بر موجودات غیر هدف شود. تکنیک‌هایی مانند سیستم‌های سم‌پاشی هدایت شده توسط (GPS) سبب پاشش هوشمندانه آفت‌کش‌ها و دستیابی به این هدف می‌شود (لاک[1] و همکاران، ۲۰۱۰).

ارزیابی خطرات بالقوه آفت‌کش به کاهش اثرات آن‌ها بر موجودات غیر هدف و محیط‌زیست کمک می‌کند (ایامارینو و همکاران، ۲۰۲۲). یکی از مسائل مهم مربوط به ایمنی مواد غذایی عدم هماهنگی جهانی قوانین مصرف آفت‌کش‌ها و استانداردهای ایمنی است. حداکثر مجاز باقی‌ماندهٔ آفت‌کش[2]، در محصولات کشاورزی در زمان برداشت، به‌طور قابل توجهی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه متفاوت است (رفیعی و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین، رعایت دوره پیش برداشت[3] جهت افزایش ایمنی محصولات کشاورزی بسیار اهمیت دارد. از این‌رو سیستم‌های نظارتی جهت بررسی دقیق مقادیر باقی‌مانده می‌تواند نقش قابل توجهی در ارتقا سطح سلامت جامعه داشته‌باشد (کوبیاک-هاردیمن[4] و همکاران، ۲۰۲۲، رفیعی و همکاران، ۲۰۱۹). بقایای آفت‌کش‌ها به روش‌های طیف‌سنجی، ایمونوشیمی، زیست‌سنجی و کروماتوگرافی اندازه‌گیری می‌شوند (طالبی جهرمی، ۲۰۰۷). به‌طور کلی، مراحل اندازه‌گیری آفت‌کش‌ها در هر نمونه شامل: نمونه‌برداری[5]، استخراج[6]، خالص‌سازی[7]، جداسازی و شناخت کمی و کیفی[8] است. برای هر نوع آفت‌کش، روش استخراج خاصی عنوان شده‌است (رفیعی و همکاران، ۲۰۲۲). از روش‌های نوینی مانند به‌کارگیری کارتریج‌های فاز جامد[9] و میکرو استخراج فاز جامد[10] نیز به‌منظور خالص‌سازی سموم استفاده می‌شود (رفیعی و همکاران، ۲۰۱۶). برای شناسایی مقادیر کمی آفت‌کش‌ها از روش‌های تشخیصی متعددی بر اساس ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیکی استفاده شده‌است. بدون شک متداول‌ترین روش جداسازی تجزیه‌ای، کروماتوگرافی است. کروماتوگرافی لایه‌نازک، کروماتوگرافی گازی (GC)[11]، کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC)[12]، روش‌های کروماتوگرافی همراه با آشکارسازهای طیف‌سنجی جرمی (MS)[13]، اطلاعات کمی در مورد باقی‌مانده سموم با دقت بالا ارائه می‌دهد (راوتانی[14] و همکاران، ۲۰۱۸). امروزه از روش طیف‌سنجی مادون‌قرمز نزدیک (NIR)[15]، به‌عنوان یک تکنیک ساده، قابل‌اعتماد و ارزان، نیز برای سنجش باقی‌مانده آفت‌کش‌ها استفاده می‌کنند (لسکواچ و پتروویچ[16] و همکاران، ۲۰۲۳). برای تعیین همزمان باقی‌مانده چند آفت‌کش از روش استخراج QuEChERS و روش‌های HPLC،GC-MS/MS و LC-MS/MS استفاده می‌شود (رفیعی و همکاران، ۲۰۲۲). با ردیابی و تخمین دقیق بقایای سموم در محصولات کشاورزی و مواد غذایی، همین طور در محیط‌زیست می‌توان مخاطراتی را که این ترکیبات شیمیایی می‌توانند ایجاد کنند ارزیابی کرد و با به‌کارگیری روش‌های کاهش باقی‌مانده سموم از این آثار نامطلوب کاست. فرآوری مواد غذایی به‌صورت تجاری و خانگی، همچنین کاربرد انواع مختلفی از مواد شیمیایی می‌تواند سبب کاهش باقی‌مانده‌ی آفت‌کش‌ها شود. برای مثال دی‌اکسید کلر می‌تواند باقی‌مانده، آفت‌کش آلدرین را حذف کند و متوکسی‌کلر علف‌کش‌هایی مانند پاراکوات و دیکوات در عرض چند دقیقه در pH بالاتر از ۸ از بین می‌برد (مدینا[17] و همکاران، ۲۰۲۱). همچنین، استفاده از فناوری‌های جدید مانند پلاسمای سرد، میدان پالس الکتریکی، فشار هیدرو استاتیک و فراصوت، روش‌های نوینی برای کاهش باقی‌مانده سموم و در نتیجه کاهش آثار نامطلوب این ترکیبات هستند (میر[18] و همکاران، ۲۰۲۲).

---

1. Luck
2. Maximum residue limit
3. Preharvest period
4. Kubiak-Hardiman
5. Sampling
6. Extraction
7. Clean up
8. Determination
9. Solid phase extraction
10. Solid phase microextraction
11. Gas chromatography
12. High performance liquid chromatography
13. Mass spectroscopy
14. Rawtani
15. Near-infrared
16. Leskovac & Petrovi´c
17. Medina
18. Mir

کلیه مراحل تولید، ثبت و کاربرد یک آفت‌کش باید دقیق مورد نظارت قرار گیرد تا از کیفیت محصول تجاری و ایمنی آن برای سلامت انسان، موجودات غیر هدف و همچنین محیط‌زیست اطمینان حاصل شود. این بررسی‌ها شامل تجزیه و تحلیل باقی‌مانده این ترکیبات و ارزیابی خطر آن‌ها و مدیریت خطرات آن‌هاست (وو و همکاران، ۲۰۲۲).

آفت‌کش‌ها، اغلب بدون توجه به حضور، شناسایی دقیق و میزان خسارت آفت مورد استفاده قرار می‌گیرند. کشاورزان اغلب بر اساس یک برنامه ثابت زمانی و گاه تقلیدی به‌عنوان پیشگیری از بروز آفات سم‌پاشی را انجام می‌دهند. نظارت بر استفاده آگاهانه و دقیق‌تر آفت‌کش‌ها سبب کاهش مصرف بی رویه این سموم می‌شود، همچنین افزایش آگاهی کشاورزان از مخاطرات آفت‌کش‌ها می‌تواند نقش بازدارنده در مصرف این سموم داشته‌باشد (رفیعی و همکاران، ۲۰۱۶).

هدف نهایی کشاورزی پایدار تولید مقادیر کافی غذا، اطمینان از کیفیت، حفظ طولانی مدت منابع طبیعی و ایمنی مصرف‌کنندگان است. جهت دستیابی به این امر به حداقل رساندن استفاده از آفت‌کش‌ها و ترویج کاهش مصرف سموم بسیار اهمیت دارد. از این رو در این مقاله مروری به بخش قابل توجهی از مطالعات در زمینه‌ی اثرات نامطلوب باقی‌مانده آفت‌کش‌ها و راه‌کارهای مؤثر کاهش مصرف این سموم پرداخته شد. انواع راه‌کارها یک رویکرد را برای کنترل آفات ترویج می‌دهد که با اعمال مدیریت تلفیقی آفات توسط کشاورزان، آلودگی‌های محیط زیستی آفت‌کش‌ها کاهش می‌یابد و موجودات غیر هدف از آثار این سموم حفظ شده و سلامت جامعه ارتقا می‌یابد.

منابع

Aislabie, J., Lloyd-Jones, G. (1995). A review of bacterialdegradation of pesticides. Austral. J. Soil Res., 33, 925-942.

Aktar, W., Paramasivam, M., Sengupta, D., Purkait, S., Ganguly, M.; Banerjee, S. (2008). Impact assessment of pesticide residues in fish of Ganga river around Kolkata in West Bengal. Environ. Monit. Assess. 157, 97–104.

Alamdar, A., Syed, J. H., Malik, R.N., Katsoyiannis, A., Liu, J., Li, J., Zhang, G., Jones, K. C. (2014). Organochlorine pesticides in surface soils from obsolete pesticide dumping ground in Hyderabad City, Pakistan: Contamination levels and their potential for air–soil exchange. Sci. Total Environ. 470, 733–741.

Alengebawy, A., Abdelkhalek S. T., Qureshi S. R. & Wang M. (2021). Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: ecological risks and human health implications. Toxics, 9, 42: 33pp.

Amaral, A.F.S. (2014). Pesticides and Asthma: Challenges for Epidemiology. Front. Public Health, 2, 6.

Amiri, A. (2019). Gene silencing by RNAi technique in the crop plants. 3rd International Conference on Agriculture, Enviroment & food security. 6 pp.

Azandjeme, C., Bouchard, M., Fayomi, B., Djrolo, F., Houinato, D., Delisle, H. (2013). Growing Burden of Diabetes in Sub- Saharan Africa: Contribution of Pesticides? Curr. Diabetes Rev. 9, 437–449.

Bastan S. R. & Rafiei, B. (2020). Evaluation of Permethrin Residue in Greenhouse Tomatoes. Genetic Engineering and Biosafety Journal. 9(1): 19-27.

Beaumellet, L., Tison, L., Eisenhauer, N., Hines J., Malladi, S., Pelosi, C., Thouvenot L., Phillips H. R. P. (2023). Pesticide effects on soil fauna communities—A meta-analysis. Journal of Applied Ecology, 60(7): 1239-1253.

Bernardes, M. F. F., Pazin, M., Pereira, L.C., Dorta, D.J. (2015). Impact of Pesticides on Environmental & Human Health. In Toxicology Studies—Cells, Drugs & Environment; IntechOpen: London, UK, 195–233.

Boedeker, W., Watts, M., Clausing, P. & Marquez E. (2020). The global distribution of acute unintentional pesticide poisoning: estimations based on a systematic review. Boedeker et al. BMC Public Health. 20(1875): 1-19.

Boussadia, M. I., Gueroui, Y., Habila S., Bousbia A., Symeon, G. K. (2022). Pesticide residues levels in raw cow's milk and health risk assessment across the globe: A systematic review. Environmental Advances. 9, 100266.

Brouwer, M., Huss, A., van der Mark, M., Nijssen, P.C.G., Mulleners, W.M., Sas, A.M.G., van Laar, T., de Snoo, G.R., Kromhout, H., Vermeulen, R. C. H. (2017). Environmental exposure to pesticides and the risk of Parkinson's disease in the Netherlands. Environ. Int.107, 100–110.

Carbonell, E., Xamena, N., Creus, A., Marcos, R. (1993). Cytogenetic biomonitoring in a Spanish group of agricultural workers exposed to pesticides. Mutagenesis. 8, 511–517.

Connell, D.W. (2005). Basic Concepts of Environmental Chemistry; CRC Press: Boca Raton, FL, USA. 480 pp.

Deguine, J., Aubertot, J., Flor R. J., Lescourret, F., Wyckhuys, K. A.G. & Ratnadass A. (2021). Integrated pest management: good intentions, hard realities. A review. Agronomy for Sustainable Development, 41(28): 1-35

Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B. & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. Science, 361, 916-919.

Dong, D. M., Lan, X.H., Guo, Z. Y., HUA, X. Y. (2013). Sorption Kinetics of Organochlorine Pesticides on Three Types of Solids in Natural Waters. Chem. J. Chin. Univ.-Chin. 34, 1180–1186.

Dong, L. M., Potter, J. D., White, E., Ulrich, C. M., Cardon, L.R., Peters, U. (2008). Genetic Susceptibility to Cancer: The role of polymorphisms in candidate genes. JAMA, 299, 2423.

Edwards, T.M., Myers, J. P. (2007). Environmental Exposures and Gene Regulation in Disease Etiology. Environ. Health Perspect. 115, 1264–1270.

Farhan, M., Wajid, A., Hussain, T., Jabeen, F., Ishaque, U., Iftikhar, M., Daim, M.A., Noureen, A. (2020). Investigation of oxidative stress enzymes and histological alterations in tilapia exposed to chlorpyrifos. Environ. Sci. Pollut. Res., 1–7.

Fatma, F., Kamal A. & Srivastava A. (2018). Exogenous Application of Salicylic Acid Mitigates the Toxic Effect of Pesticides in Vigna radiata (L.) Wilczek'. Journal of Plant Growth Regulation, 37(4), 1185-1194.

Fontana, A., Lana, N. B., Martínez, L. D., Altamirano, J. C. (2010). Ultrasound-assisted leaching-dispersive solid-phase extraction followed by liquid–liquid microextraction for the determination of polybrominated diphenyl ethers in sediment samples by gas chromatography–tandem mass spectrometry. Talanta, 82, 359–366.

Gao, F., Jia, J., Wang, X. (2008). Occurrence and Ordination of Dichlorodiphenyltrichloroethane and Hexachlorocyclohexane in Agricultural Soils from Guangzhou, China. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 54, 155–166.

Garry, V. F. (2004). Pesticides and children. Toxicol. Appl. Pharmacol. 198, 152–163.

Geng, Y., Ma, J., Zhou, R., Jia, R., Li, C. (2017). Assessment of insecticide risk to human health in groundwater in Northern China by using the China-PEARL model. Pest Manag. Sci. 73, 2063–2070.

Glare, T.R., Caradus, J., Gelernter, W., Jackson, T., Keyhani, N., Kohl, J., Marrone, P., Morin, L. & Stewart, A. (2012). Have biopesticides come of age? Trends in Biotechnology, 30: 250–258.

Grover, P., Danadevi, K., Mahboob, M., Rozati, R., Banu, B.S., Rahman, M.F. (2003). Evaluation of genetic damage in workers employed in pesticide production utilizing the Comet assay. Mutagenesis, 18, 201–205.

Han, D. M., Tong, X. X., Jin, M. G., Hepburn, E. Tong, C. S., Song, X. F. (2012). Evaluation of organic contamination in urban groundwater surrounding a municipal landfill, Zhoukou, China. Environ. Monit. Assess.185, 3413–3444.
Hassaan, M. A. & Nemr, A., E. (2018). Pesticides pollution: Classifications, human health impact, extraction and treatment techniques. The Egyptian Journal of Aquatic Research. 46(3): 207-220.
Hayes, T. B., Hansen, M., Kapuscinski, A. R., Locke, K. A. & Barnosky, A. (2017). From silent spring to silent night: Agrochemicals and the anthropocene. Elem Sci Anth, 5, 1–24.
Hernández, A. F., Gil, F., Lacasaña, M., Rodríguez-Barranco, M., Tsatsakis, A. M., Requena, M. & Alarcón, R. (2013). Pesticide exposure and genetic variation in xenobiotic-metabolizing enzymes interact to induce biochemical liver damage. Food Chem. Toxicol. 61, 144–151.
Iammarino, M., Panseri, S., Unlu, G., Marchesani, G., Bevilacqua, A. (2022). Editorial: Novel chemical, microbiological and physical approaches in food safety control. Front. Nutr. 9, 1060480.
Ito, H. C., Shiraishi, H., Nakagawa, M., Takamura, N. (2020). Combined impact of pesticides and other environmental stressors on animal diversity in irrigation ponds. PLOS ONE. 15(7): e0229052, 20pp.
Kabir, E. R., Rahman, M. S. Rahman, I. (2015). A review on endocrine disruptors and their possible impacts on human health. Environ. Toxicol. Pharmacol. 40, 241–258.
Kalavari, L., Nasiri, N., Ahmadian F., Kioumarsi H. (2023). Enrichment of doogh with olive leaf extract and investigation of its physicochemical, microbial, and sensory properties during storage at room temperature and refrigerator. Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science. 3(1): 34-42.
Kalyabina., V. P., Esimbekova E. N., Kopylova K. V., Kratasyuk, V. A. (2021). Pesticides: formulants, distribution pathways and effects on human health – a review. Toxicology Reports. 8: 1179-1192.
Kim, K. H., Kabir, E. & Jahan SA. (2017). Exposure to pesticides & the associated human health effects. Science of The Total Environment. 575(1), 525-535.
Kioumarsi, H., Khorshidi, KJ., Yahaya, ZS., Cutsem, I Van., Zarafat, M., Rahman, WA. (2009). Customer satisfaction: The case of fresh meat eating quality preferences and the USDA yield grade standard. Int'l Journal of Arts & Sciences (IJAS) Conference. Germany.
Kioumarsi, H., Yahaya, ZS., Rahman, WA., Chandrawathani, P. (2011). A new strategy that can improve commercial productivity of raising Boer goats in Malaysia. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances. 6(5): 476-481.
Kubiak-Hardiman, P., Haughey, S. A., Meneely, J., Miller, S., Banerjee, K., Elliott, C. T. (2022). Identifying Gaps and Challenges in Global Pesticide Legislation that Impact the Protection of Consumer Health: Rice as a Case Study. Expo. Health, 14, 1–22.
Laessig, S. A., Tabacova, S. A. & Kimmel C. A. (2003). A Review of Reproductive & Developmental Effects of Pesticide Exposure in Humans, Journal of Children's Health. 1(4), 405–447.
Leska, A., Nowak, A., Nowak, I. & Górczyńska, A. (2021). Effects of Insecticides and Microbiological Contaminants on *Apis mellifera* Health. Molecules. 26(16): 5080.
Leskovac, A.; Petrovi´c, S. (2023). Pesticide Use and Degradation Strategies: Food Safety, Challenges and Perspectives. Foods, 12, 2709.
Liu, Y., Mo, R., Tang, F., Fu, Y., Guo, Y. (2015). Influence of different formulations on chlorpyrifos behavior and risk assessment in bambo o forest of China. Environ. Sci. Pollut. Res. 22, 20245–20254.
Lozowicka, B., Abzeitova, E., Sagitov, A., Kaczy ´nski, P., Toleubayev, K., Li, A. (2015). Studies of pesticide residues in tomatoes and cucumbers from Kazakhstan and the associated health risks. Environ. Monit. Assess., 187, 609.
Luck, J. D., Zandonadi, Luck, R. S., Shearer, B. D., S. A. (2010). Reducing pesticide over-application with map-based automatic boom section control on agricultural sprayers. Transactions of the ASABE (Society of Agricultural and Biological Engineers). 53(3): 685-690.

Luo, C., Huang, Y.; Huang, D.; Liu, M.; Xiong, W.; Guo, Q.; Yang, T. (2018). Migration and Transformation Characteristics of Niclosamide in a Soil–Plant System. ACS Omega, 3, 2312–2321.
Luo, D., Zhou, T., Tao, Y., Feng, Y., Shen, X., Mei, S. (2016). Exposure to organochlorine pesticides and non-Hodgkin lymphoma: A meta-analysis of observational studies. Sci. Rep. 6, 25768.
Malekzadeh M., Sharifi M., Rafiei B. (2022). Survey on the effects of some pesticides on Armoured scale (Chrysomphalus dictyospermi) and the heather ladybird (*Chilocorus bipustulatus*). Genetic Engineering and Biosafety Journal. 11(2): 191-200.
Marie, L., Payraudeau, S., Benoit, G., Maurice, M., Gwenaël, I. (2017). Degradation and Transport of the Chiral Herbicide S-Metolachlor at the Catchment Scale: Combining Observation Scales and Analytical Approaches. Environ. Sci. Technol., 51, 13231–13240.
Maurya, P. k. & Malik, D. S. (2016). Bioaccumulation of xenobiotics compound of pesticides in riverine system and its control technique: A critical review. Jr. of Industrial Pollution Control 32(2): 580-594.
Medina, M. B., Munitz, M. S., Resnik, S. L. (2021). Effect of household rice cooking on pesticide residues. Food Chemistry. 342: 128311.
Mir S. A., Dar B.N., Mir M. M., Sofi S. A., Shah M. A., Sidiq T., Sunooj K.Va., Hamdani A. M., Khaneghah A. M. (2022). Current strategies for the reduction of pesticide residues in food products. Journal of Food Composition and Analysis. 106: 104274.
Nie, H., Jacobi, H.F., Strach, K., Xu, C., Zhou, H., Liebetrau, J. (2015). Mono-fermentation of chicken manure: Ammonia inhibition and recirculation of the digestate. Bioresour. Technol. 178, 238–246.
Ogg, CL., Hygnstrom, J. R., Alberts, C. A. & Bauer E. C. (2018). Managing Pesticide Poisoning Risk & Underst&ing the Signs & Symptoms, Nextension, EC2505: 15 pp.
Overton, K., Ward, S. E., Hoffmann, A. A., Umina, P. A. (2023). Lethal impacts of insecticides and miticides on three agriculturally important aphid parasitoids. Biological Control. 178, 105143.
Peluso, M., Merlo, F., Munnia, A., Bolognesi, C., Puntoni, R., Parodi, S. (1996). 32P-postlabeling detection of DNA adducts in peripheral white blood cells of greenhouse floriculturists from Western Liguria, Italy. Cancer Epidemiol. Biomarkers Prev.5, 361–369.
Polanco Rodríguez, Á. G., Riba López, M. I., DelValls Casillas, T. Á., Araujo León, J. A., Mahjoub, O., Prusty, A. K. (2017). Monitoring of organochlorine pesticides in blood of women with uterine cervix cancer. Environ. Pollut. 220, 853–862.
Qian, S., Zhu, H., Xiong, B., Zheng, G., Zhang, J., Xu, W. (2017). Adsorption and desorption characteristics of endosulfan in two typical agricultural soils in Southwest China. Environ. Sci. Pollut. Res., 24, 11493–11503.
Qin, F., Gao, Y.X., Guo, B.Y., Xu, P., Li, J.Z., Wang, H. (2014). Environmental behavior of benalaxyl and furalaxyl enantiomers in agricultural soils. J. Environ. Sci. Health Part B 2014, 49, 738–746.
Rafiei B, Imani S, Bastan R. (2016). Determination of residue of Deltamethrin on greenhouse cucumber. Journal of Entomological Research. 7(4): 307 -316.
Rafiei, B. & Bastan, S. R. (2022). Determination of fenpropathrin residue by QuEChERS method and GC/MS. Arthopods:11(1): 65-71
Rafiei, B., Ghadamyari, M., Imani, S., Hosseininaveh, V., Ahadiyat, A. (2016). Purification and characterization of α-amylase in Moroccan locust, *Dociostaurus maroccanus* Thunberg (Orthoptera: Acrididae) and its inhibition by inhibitors from *Phaseolus vulgaris* L. Toxin Reviews, 35(3-4): 90-95.
Rafiei, B., Ghadamyari, M., Imani, S., Hosseininaveh, V., Ahadiyat, A. (2018). Characterization and inhibition studies of hemolymph phenoloxidase from *Dociostaurus maroccanus*. Toxin Reviews, 37(1): 44-51.

Rafiei, B., Imani, S., Alimoradi, M., Shafiee, H., Khaghani, S., Bastan, S. R. (2019). Survey on residuals of Fenpropathrin in greenhouse cucumber. 3(7): 193-201.
Rafiei, B., Kioumarsi H., Naseri Harsini R, Mahdavian S. M. R. (2023). Investigating the impact of climate change on environment and agriculture. Journal of Environmental Research and Technology, 8(13). 23-39
Ray, S. & Shaju, S., T. (2023). Bioaccumulation of pesticides in fish resulting toxicities in humans through food chain and forensic aspects. Environmental Analysis Health and Toxicology. 38(2): e2023017.
Relyea, R. A. (2005). The impact of insecticides and herbicides on the biodiversity and productivity of aquatic communities. Ecological Applications; 15: 618–627.
Ren, W., Wang, M., Zhou, Q. (2011). Effect of soil pH and organic matter on desorption hysteresis of chlorimuron-ethyl in two typical Chinese soils. J. Soils Sediments. 11, 552–561.
Romero, A. & Keith, E. O. (2012). New Approaches to the Study of Marine Mammals. Intech. 250 pp.
Shafeeque, M. A., Ahmad, F. & Kamal, A. (2020). Toxicity of pesticides to plants & non-target organism: a comprehensive review. Iranian Journal of Plant Physiology, 10 (4): 3299-3313
Si, Y., Zhang, J., Wang, S., Zhang, L., Zhou, D. (2006). Influence of organic amendment on the adsorption and leaching of ethametsulfuron-methyl in acidic soils in China. Geoderma. 130, 66–7
Sijm, D., Rikken, M., Rorije, E., Traas, T., McLachlan, M., Peijnenburg, W. (2007). Transport, Accumulation and Transformation Processes; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 73–158 pp.
Singh, D.K. (2012). Pesticides and Environment. Pestic. Chem. Toxicol. 1, 114–122.
Skendžić, S., Zovko M., Živković I. P., Lešić V. and Lemí D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. Insects, 12, 440.
Strassemeyer, J., Daehmlow, D., Dominic, A., Lorenz, S. & Golla, B. (2017). SYNOPS-WEB, an online tool for environmental risk assessment to evaluate pesticide strategies on field level. Crop. Prot., 97, 28–44.
Su, W., Hao, H., Xu, H., Lu, C., Wu, R., Xue, F. (2016). Degradation of Mesotrione Affected by Environmental Conditions. Bull. Environ. Contam. Toxicol., 98, 212–217.
Subaramaniyam, U., Allimuthu, R. S., Vappu, S., Ramalingam, D., Balan, R., Paital, B., Panda, N., Rath, P. K., Ramalingam, N., Sahoo, D. K. (2023). Effects of microplastics, pesticide s and nano-materials on fish health, oxidative stress and antioxidant defense mechanism. Front Physiol. 14:1217666.
Talebi Jahromi, Kh. (2007). Pesticides Toxicology. Tehran University Press. 492 pp.
Tariq, S. R., Nisar, L. (2018). Reductive transformation of profenofos with nanoscale Fe/Ni particles. Environ. Monit. Assess. 190, 123.
Tcaciuc, A. P., Borrelli, R., Zaninetta, L. M., Gschwend, P. M., Tcaciuc, P. (2018). Passive sampling of DDT, DDE and DDD in sediments: Accounting for degradation processes with reaction–diffusion modeling. Environ. Sci. Process. Impacts. 20, 220–231.
Tudi, M., Ruan, H. D., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C. & Phung, D. T. (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. Int. J. Environ. Res. Public Health, 18, 1112.
Tulchinsky T. (2010). Micronutrient Deficiency Conditions: Global Health Issues. Public Health Rev., 32: 243–255.
Umetsu, N., Shirai, Y. (2020). Development of novel pesticides in the 21st century. J. Pestic. Sci. 45, 54–74.

Wu, L. P., Chládková, B., Lechtenfeld, O. J., Lian, S., Schindelka, J., Herrmann, H., Richnow, H. H. (2018). Characterizing chemical transformation of organophosphorus compounds by 13C and 2H stable isotope analysis. Sci. Total Environ. 615, 20–28.

Wu, Y., Han, L., Wu, X., Jiang, W., Liao, H., Xu, Z. & Pan, C. (2022). Trends & perspectives on general Pesticide analytical chemistry. Advanced Agrochem. 1(2): 113-124

Xue, N., Yang, R., Xu, X., Seip, H.M., Zang, Q., Zeng, Q. (2006). Adsorption and Degradation of Benfuracarb in Three Soils in Hunan, People's Republic of China. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 76, 720–727.

Yue, L., Ge, C., Feng, D., Yu, H., Deng, H., Fu, B. (2017). Adsorption–desorption behavior of atrazine on agricultural soils in China. J. Environ. Sci. 57, 180–189.

Zhang, H., Qi, L., Wu, Y., Musiu, E. M., Cheng, Z., Wang, P. (2020). Numerical simulation of airflow field from a six–rotor plant protection drone using lattice Boltzmann method. Biosyst. Eng., 197, 336–351.

Zhao, Y., Wendling, L. A., Wang, C., Pei, Y. (2016). Behavior of chlorpyrifos and its major metabolite TCP (3,5,6-trichloro-2-pyridinol) in agricultural soils amended with drinking water treatment residuals. J. Soils Sediments. 17, 889–900.

Zhou, Y., Xia, X., Yu, G., Wang, J., Wu, J., Wang, M., Yang, Y., Shi, K., Yu, Y., Chen, Z., Gan, J., Yu, J., (2015). Brassinosteroids play a critical role in the regulation of pesticide metabolism in crop plants. Scientific Reports 5, 9018.

Zhu, S., Niu, L., Aamir, M., Zhou, Y., Xu, C., Liu, W. (2017). Spatial and seasonal variations in air-soil exchange, enantiomeric signatures and associated health risks of hexachlorocyclohexanes (HCHs) in a megacity Hangzhou in the Yangtze River Delta region, China. Sci. Total Environ., 599, 264–272.