

مروری بر سرنوشت آفت‌کش‌ها و ارزیابی مخاطرات آن‌ها در محیط*

Fate of Pesticides & their Risks Assessment in the Environment: A review

محمد کاظم رضانی^{**}

چکیده

آفت‌کش‌ها به طور وسیع برای محافظت گیاهان در مقابل آفات و بیماری‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند و در سیستم‌های کشاورزی پیشرفته مصرف آفت‌کش‌ها غیر قابل اجتناب است. بر اساس اطلاعات موجود قسمت زیادی از آفت‌کش‌ها در زمان و یا پس از مصرف به هدف مورد نظر نرسیده و بقایای آن‌ها وارد بخش‌های مختلف محیط می‌شوند. بقایای آفت‌کش‌ها در محیط می‌تواند اثرات جانبی زیادی را بر سلامتی موجودات زنده در اکوسیستم‌های مختلف و همچنین پس از ورود به زنجیره‌های غذایی، سلامتی انسان را تحت تاثیر قرار دهد. اخیراً با شناخت اختلال آفت‌کش‌ها در سیستم‌های هورمونی و غدد درون‌ریز مهره‌داران نگرانی در مورد اثرات جانبی آفت‌کش‌ها تشدید یافته است. فرایندهای مختلفی از جمله تجزیه زیستی و غیر زیستی، روشینی و انتقال آفت‌کش‌ها به آب، هوا یا منابع غذایی سرنوشت آفت‌کش‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند و اهمیت نسبی هر یک از این فرایندها بسته به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آفت‌کش‌ها و شرایط اقلیمی، متفاوت است. تغییرات محیطی می‌تواند بر سرنوشت، پایداری و سمیت آفت‌کش‌ها در محیط تاثیر گذاشته و تاثیر آنها را بر موجودات کاهش و یا افزایش دهد. با توجه به پرهزینه بودن اندازه‌گیری بقایای آفت‌کش‌ها در اجزاء مختلف محیط، اخیراً روش‌هایی برای کمی نمودن مخاطرات آفت‌کش‌ها بر محیط و سلامتی انسان با استفاده از شاخص‌های مختلف مورد توجه قرار گرفته است. این شاخص‌ها می‌تواند روند خطرات آفت‌کش‌ها را در طول زمان بررسی و سلامتی اکوسیستم را مورد ارزیابی قرار دهند. در این مقاله ابتدا نقش فرایندهای مختلف تعیین‌کننده سرنوشت آفت‌کش‌ها و فاکتورهای موثر بر آنها در محیط مورد بررسی قرار می‌گیرد سپس اهمیت هر یک از مدل‌های مختلف ارزیابی مخاطرات آفت‌کش‌ها و مزایا و معایب آن‌ها بررسی و چگونگی ارزیابی مخاطرات آفت‌کش‌ها با در نظر گرفتن مشکلات موجود در زمینه اطلاعات لازم در کشور پیشنهاد خواهد شد.

کلمات کلیدی: بقایای آفت‌کش‌ها، محیط زیست، ارزیابی مخاطرات

مقدمه

کاهش محصولات کشاورزی جلوگیری کنند. بنابراین، مصرف آن‌ها از نظر اقتصادی و اجتماعی کاملاً قابل توجیه است. بر اساس آمار موجود به ازای هر یک دلار که صرف هزینه تولید آفت-کش‌ها می‌شود، در حدود ۴ دلار برگشت سرمایه

استفاده از آفت‌کش‌ها در کشاورزی یکی از مهم‌ترین فاکتورهای موثر در افزایش عملکرد و کاهش هزینه تولید بوده است. براساس گزارش‌های موجود، آفت‌کش‌ها می‌توانند از ۴۰ درصد

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۰۷

۱- عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات گیاه‌پزشکی کشور

Email: mkramezani@iripp.ir ** - نویسنده مسئول

*: این مقاله در همایش ملی نیم قرن مصرف آفت‌کش‌ها در ایران به صورت سخنرانی ارائه شده است.

همچنین تعیین اثرات جانبی آن ها بر گونه های هدف و غیر هدف ضروری است. چنین اطلاعاتی برای استفاده موثرتر از آفت کش ها برای مدیریت آفات ضروری بوده و شناخت بهتر سرنوشت آفت-کش ها در محیط، به توسعه روشهای ارزیابی و کاهش خطرات آفت کش ها کمک نموده و همچنین ایجاد قوانین و مقررات مربوط به آفت-کش ها بر اساس مطالعات دقیق علمی را مکان پذیر می نماید. لذا در این مقاله نخست فرایندهای موثر بر سرنوشت آفت کش ها در محیط و فاکتورهای مرتبط با آن مورد بررسی قرار گرفته، سپس اثراتی را که آفت کش ها و بقایای آنها بر سلامتی انسان و محیط زیست دارند مورد بحث قرار گرفته و در نهایت روش های ارزیابی مخاطرات آفت کش ها و چگونگی کمی نمودن این اثرات بررسی خواهد شد.

۱. سرنوشت آفت کش ها در محیط

چندین فاکتور بر سرنوشت و رفتار آفت کش ها در محیط تاثیر دارند که عبارتند از رونشینی آفت کش در خاک، فراریت (تبخیر)، تجزیه شیمیایی و میکروبی، جذب به وسیله گیاهان، شستشوی سطحی و آبشویی به آب های زیرزمینی. انتقال آفت کش ها از محل مصرف به آب، هوا یا غذا بوسیله این فرایندها کنترل می شود و اهمیت نسبی هر یک از این فرایندها بسته به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آفت کش ها متفاوت است. رونشینی آفت کش ها به خاک و تجزیه (زیستی^۲ و غیر زیستی^۳) دو فرایند مهم بوده که بر سرنوشت آفت کش ها به ویژه در خاک تاثیر می گذارند

وجود دارد. ولی باید در نظر داشت که این فواید بدون هزینه های اجتماعی و زیست محیطی نخواهد بود (Finizio, 2002). میزان مصرف آفت کش ها در سال ۲۰۰۰ بر اساس درصد در مهمترین گیاهان زراعی و مناطق مختلف جهان در جدول ۱ نشان داده شده است.

میزان آفت کشی که به آفت مورد هدف رسیده و یا به وسیله آن مصرف میشود سهم ناچیزی از کل آفت کش هایی است که برای کنترل آفات مصرف می شوند. در اغلب مطالعات انجام شده این میزان کمتر از ۱ درصد گزارش شده است و این بدین معنا است که بیش از ۹۹ درصد از کل آفت کشهای مصرفی وارد محیط زیست شده و به آفات مورد نظر نمی رسند (Pimentel, 1995).

بروز نگرانی در مورد اثرات جانبی آفت کش ها بر موجودات، اخیرا با شناخت مواد شیمیایی به عنوان ایجاد کننده های اختلال در سیستم های هورمونی و غدد درون ریز^۱ مهره داران تشدید یافته است. به علت تشابه هورمون های انسان و بسیاری از مهره داران این مسئله نگرانی هایی را از زمان معرفی نقش آفت کش ها به عنوان مختل کننده سیستم هورمونی غدد درون ریز به وجود آورده است (Palis, 2006).

به منظور بررسی اثرات زیست محیطی آفت-کش ها و بهبود توانائی در جهت شناخت و توسعه استراتژی های مدیریت آفات و به حداقل رساندن اثرات جانبی آفت کش ها بر محیط زیست و سلامتی انسان، شناخت فرایندهای شیمیایی، فیزیکی و زیستی کنترل کننده رفتار آفت کش ها در محیط، و

^۲ Biotic

^۳ Abiotic

^۱ Endocrine disruptors

با فرمول زیر نشان داده می‌شود (Kah, 2007):

$$\text{Koc} = (\text{kd} \times 100) / \text{آلی}$$

ضریب رونشینی بیشتر از ۵۰۰ نشان دهنده پتانسیل بالای آبشویی یک آفت کش است. فرایند رونشینی آفت کش‌ها بستگی به فاکتور هایی از جمله ماده آلی و کانی های رس که در اغلب خاک ها مهمترین عوامل رونشینی آفت کش‌ها هستند. هر چند رونشینی یک آفت کش در خاک می تواند به وسیله فاکتور های دیگری مانند اسیدیته، ساختار مولکولی آفت کش، بار الکتریکی و حلالیت در آب تحت تاثیر قرار گیرد. حدود یک سوم آفت کش‌ها اسیدی یا بازی هستند که بسته به اسیدیته خاک و یونیزاسیون مولکول آفت کش، این ترکیبات ممکن است عمدتاً بصورت آنیون و یا کاتیون در خاک وجود داشته باشند. همبستگی بین ضریب رونشینی و حلالیت در آب در آفت کش‌های بدون بار (خنثی) کاملاً نمایان است ولی این روند در مورد آفت کش‌های یونی یا غیر یونی صادق نیست (Harris, 2001; Kah, 2007; Von Oepon, 1991) (شکل ۱).

رونشینی آفت کش‌ها به خاک از آن جهت مهم است که می تواند سبب کاهش کنترل آفت، صدمه به گیاهان زراعی غیر هدف، و آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیر زمینی شود (Rochette, 1996; Von Oepon, 1991; Kah, 2007)

۲.۲. تجزیه آفت کش ها در محیط

شناخت فرایندهای تجزیه آفت کش‌ها در ارزیابی پایداری بقایای آن‌ها در محیط حائز اهمیت است، میکروارگانیسم‌ها قادرند آفت کش‌ها را به

هر گونه تغییر در فاکتور های محیطی میتواند بر سرنوشت، پایداری و سمیت آفت کش‌ها تاثیر داشته باشد. تغییر اسیدیته محیط برای مثال بر فراریت، حلالیت و توانایی رونشینی آفت کش‌ها تاثیر گذاشته و رفتار آن را در محیط تغییر می دهد. نوع و اجزای تشکیل دهنده خاک که از نظر ساختار فیزیکی و خصوصیات شیمیایی متفاوت است به طور مستقیم بر سرنوشت آفت کش‌ها تاثیر دارند. فرایند هایی که بر سرنوشت آفت کش‌ها در محیط تاثیر دارند در این قسمت بحث می شوند (Harris, 2001; Dyson, 2002).

۱.۲. رونشینی آفت کش‌ها در خاک

آفت کش‌ها در نهایت از طریق شستشو توسط بارندگی، از طریق گیاهان زراعی و یا بقایای گیاهی وارد خاک می شوند. به محض ورود به خاک، مولکول آفت کش بین فاز مایع و جامد تقسیم می شود. میزان تمایل مولکول آفت کش در یکی از فاز ها هر یک از جنبه های دیگر آن را تحت تاثیر قرار خواهد داد. در واقع رونشینی آفت کش در خاک پایداری آن را در محیط، و پتانسیل آن را به عنوان عامل آلودگی آب های زیر زمینی و میزان دسترسی آفات مورد هدف به آفت کش را مشخص خواهد نمود. ماده آلی خاک و رس مهمترین عوامل تعیین کننده رونشینی آفت کش‌ها در خاک هستند. رونشینی آفت کش‌ها توسط خاک به وسیله ضریب رونشینی^۱، که نمایانگر نسبت غلظت آفت کش در فاز جامد (ذرات خاک) به غلظت آن در فاز مایع (محلول خاک) می باشد

^۱ Sorption (partition) coefficient

واکنش تجزیه که معمول ترین مسیر تجزیه آفت کش ها در محیط است، آفت کش به عنوان منبع انرژی در مسیر تجزیه استفاده نشده بنابراین در این نوع واکنش مرحله سازگاری یا فاز تاخیری وجود ندارد (Kah, 2007).

تجزیه زیستی آفت کش ها نه تنها به قابل دسترس بودن آن ها برای میکروارگانیسم ها بلکه به زنده بودن و فعالیت میکروارگانیسم ها بستگی دارد. همبستگی بین بیوماس میکروبی و تجزیه آفت کش های گروه تیوکاربامات ها گزارش شده است. فاکتورهای محیطی شامل درجه حرارت، میزان رطوبت موجود در خاک، اسیدیته خاک ها، وجود عناصر غذایی، ترکیب گونه های میکروبی، و توزیع میکروارگانیسم ها و آفت کش ها در خاک و خصوصیات آفت کش ها مانند ساختار شیمیایی، وزن مولکولی، نوع گروه های جایگزین، غلظت آفت کش، سمیت آن، و حلالیت در آب هستند. (Bolan, 1996, Kah, 2007).

۲،۲،۲. تجزیه غیر زیستی

به تجزیه آفت کش ها در محیط بدون دخالت میکروارگانیسم ها تجزیه غیر زیستی اطلاق می شود. هیدرولیز، واکنش های اکسیداسیون و احیاء و تجزیه نوری (مستقیم و غیر مستقیم) مهمترین فرایندهای تجزیه غیر زیستی آفت کش ها هستند. ساختار شیمیایی آفت کش ها، اسیدیته و درجه حرارت مهم ترین فاکتور هایی هستند که تجزیه غیر زیستی آنها را تحت تاثیر قرار می دهند. برای مثال، هیدرولیز آفت کش های کلرپیروفوس^۳ و فلوپیوکسازین^۴ در شرایط بازی افزایش یافته، در

طور کامل و یا به صورت ناقص تجزیه نموده و این فرایند مهمترین مسیر تجزیه آن ها در محیط است. میزان تجزیه و رونشینی آفت کش ها در محیط دو پارامتر مهم در مدلسازی و پیش بینی غلظت آن ها در آب، خاک و به طور کلی محیط است (Rao, 1993). همبستگی معنی دار و مثبت بین تجزیه و رونشینی آفت کش ها در منابع مختلف گزارش شده است. باکتری ها و قارچ ها مهمترین میکروارگانیسم های موثر در تجزیه زیستی آفت کش ها بوده، هر چند باید به خاطر داشت که فراوان ترین میکروارگانیسم ها همیشه مهم ترین آن ها در تجزیه آفت کش ها نیستند. تجزیه آفت کش ها در محیط ممکن است از طریق میکروارگانیسم ها (زیستی) و یا بدون دخالت آن ها (غیر زیستی) صورت گیرد که در زیر مورد بررسی قرار می گیرد.

۱،۲،۲. تجزیه زیستی (بیولوژیکی)

خصوصیات شیمیایی یک آفت کش (ساختار شیمیایی، سمیت، حلالیت، غلظت و غیره) و همچنین شرایط محیط و خاک که بر فعالیت میکروارگانیسم ها تاثیر دارند تجزیه آفت کش ها را تحت تاثیر قرار می دهند (Bolan, 1996). در واکنش تجزیه آفت کش ها توسط میکروارگانیسم ها ممکن است آفت کش موجود به عنوان منبع انرژی استفاده شود که در این صورت معمولاً یک دوره سازگاری^۱ میکروارگانیسم ها برای تجزیه آفت کش لازم است. در این نوع تجزیه معمولاً یک مرحله فاز تاخیری^۲ قبل از تجزیه سریع آفت کش قابل شناسایی است (شکل ۲). در نوع دیگر

^۳ Chlorpyrifos

^۴ Flumioxazin

^۱ Acclimation

^۲ Lag phase

تجزیه غیر زیستی آن‌ها را تحت تاثیر قرار می دهند. طول موج‌های بالاتر از ۲۹۰ نانومتر منجر به تولید رادیکال‌های هیدروکسیل و پراکسید هیدروژن از مواد آلی محلول موجود در آب شده، که به دلیل خاصیت اکسید کنندگی این ترکیبات نقش مهمی را در فتولیز آفت‌کش‌ها به عهده دارند. به علت وجود این مواد، فتولیز آفت‌کش‌ها در سیستم‌های آب طبیعی با آب خالص متفاوت است. هم افزایش و هم کاهش فتولیز آفت‌کش‌ها در حضور مواد فوق در منابع گزارش شده است (Sukul, 2001; Katagi, 2004; Palar, 1990).

۳،۲. تبخیر آفت‌کش‌ها

فراریت گازی آفت‌کش یک فرایند فیزیکی و شیمیایی است که سبب انتقال آن به صورت گازی (بخار) از سطح آب، خاک و گیاه به اتمسفر می شود. اگرچه این پدیده قابلیت دسترسی آفت‌کش را به آفت و همچنین پتانسیل آن را برای آلودگی آب‌های زیر زمینی کاهش می دهد، ولی پتانسیل آفت‌کش در آلودگی اتمسفر و آب‌های سطحی را افزایش می دهد. فشار بخار یک آفت‌کش میزان تمایل آن را برای انتقال به هوا تعیین میکند و میزان آن با استفاده از فرمول قانون ثابت هنری^۳ (فرمول ۲) برآورد می شود.

$$H = (Ca/Cw)RT \quad (\text{فرمول ۲})$$

در فرمول فوق، Ca و Cw به ترتیب غلظت آفت‌کش در هوا و آب، R ثابت گازی و T درجه حرارت مطلق است. معمولاً تبخیر آفت‌کش‌ها (H) برای اغلب آفت‌کش‌ها ممکن است از چند گرم تا ۲۰۰۰ گرم در هکتار در روز بستگی به

حالی که هیدرولیز علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره^۱ در شرایط اسیدی افزایش می یابد. به منظور پیش بینی رفتار آفت‌کش‌ها در محیط، مطالعه هیدرولیز آفت‌کش‌ها باید در محدوده اسیدیته‌های معمول خاک و آب (۵ تا ۸/۵) انجام شود. مطالعه هیدرولیز آفت‌کش‌ها در ارزیابی پتانسیل آفت‌کش‌ها برای آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی حائز اهمیت است. با آبشویی آفت‌کش‌ها به آب‌های زیر زمینی و قسمت‌های زیرین و اشباع خاک که تجزیه میکروبی (زیستی) محدود می شود، تجزیه غیر زیستی و عمدتاً هیدرولیز مهمترین فرایند تجزیه آفت‌کش‌ها خواهد بود (Sukul, 2001; Katagi, 2004).

تجزیه نوری (فتولیز) آفت‌کش‌ها نوعی واکنش شیمیایی است که منحصرأ در مقابل نور صورت می گیرد. تجزیه نوری آفت‌کش‌ها در سطح آب، خاک و همچنین اتمسفر اتفاق می افتد (Katagi, 2004). خصوصیات آب از جمله اسیدیته، غلظت مواد محلول در آب، و درجه حرارت مهم‌ترین فاکتورهایی هستند که فتولیز آفت‌کش‌ها را تحت تاثیر قرار می دهند. مواد متعددی از جمله ترکیبات معلق و محلول مثل اسیدهای هیومیک، اکسیدهای فلزی حاصل از بقایای گیاهی، رس‌ها و رسوبات هستند در آب‌های طبیعی وجود دارند. برای مثال، غلظت کربن آلی محلول^۲ تقریباً ۰/۵ میلی گرم در لیتر در آب‌های زیر زمینی و ۳۰ میلی گرم در لیتر در مرداب‌ها گزارش شده است. فعل و انفعالات بین این ترکیبات موجود در آب سبب افزایش حلالیت آفت‌کش‌ها شده و

^۱ Sulfonylurea

^۲ Dissolved organic carbon (DOC)

^۳ Henry's law constant (H)

دست آمده ۱۰ درصد گزارش شده است. میزان شستشوی سطحی آفت کش ها با غلظت آن در چند سانتی متری سطح خاک ارتباط مستقیم دارد. بنابراین، احتمال آبتشویی آفت کش هایی که با خاک مخلوط و یا وارد خاک شده اند، کمتر است (Oliveira, 2001; Arias-Estevéz, 2008).

ذرات رس و مواد آلی موجود در خاک میتوانند به عنوان حامل آفت کش ها عمل نموده و همانند شستشوی سطحی، سبب آبتشویی آن ها به عمق خاک و در نتیجه آب های زیر زمینی شوند (Oliveira, 2001). معمولاً انتقال آفت کش به عنوان فاکتور کلیدی در ارزیابی پتانسیل آلودگی آب های زیر زمینی استفاده می شود. هرچند، انتقال به تنهایی یک شاخص مناسب برای پتانسیل آلوده کنندگی یک آفت کش نیست، ولی ترکیب این شاخص با پایداری آفت کش، قابلیت تجزیه یک آفت کش را قبل از ورود به آب های زیر زمینی تعیین می کند. شاخص آبتشویی^۱ GUS (فرمول ۴) برای پیش بینی پتانسیل آفت کش ها در آلوده کردن آب های زیر زمینی پیشنهاد شده است (Arias-Estevéz, 2008).

(فرمول ۳)

$$GUS = \log(DT50) \times (4 - \log(Koc))$$

در این فرمول DT50 و Koc به ترتیب نیمه عمر و ضریب رونشینی آفت کش است. آفت کش هایی که در آب های زیر زمینی یافت می شوند شاخص آبتشویی آن ها بیش از ۲/۸ در صورتی که آفت کش هایی که شاخص فوق برای آن ها کمتر از ۱/۸ باشد، معمولاً در آب های زیر زمینی یافت نمی شوند (Taylor, 1990).

شرایط محیطی، و نحوه مصرف و خصوصیات آفت کش باشد. به طور کلی مقادیر فراریت گازی (H) بیش از ۱۰ و ۴-۱۰ به ترتیب نشان دهنده تمایل بالا و پایین آفت کش برای انتقال به اتمسفر است. بستگی به شرایط محیطی و خصوصیات آفت کش، از دست رفتن آن در اثر این پدیده می تواند بیش از ۹۰ درصد دز مصرفی برای بعضی از آفت کش ها مانند ترایفلورالین یا لیندن پس از یک هفته از مصرف آن باشد. برای آفت کش های دیگری مانند آترازین این میزان به مراتب کمتر و در حدود ۲ درصد دز مصرفی پس از ۲۴ روز گزارش شده است. تقریباً نیمی از آفت کش " اندوسولفان " که در خاک خشک مصرف شده بود در آب و هوای گرم در اثر تبخیر از بین رفت در صورتی که این میزان در شرایط سرد بسیار کمتر بود (Taylor, 1990; Katagi, 2004; Palar, 1990).

۴.۲. آبتشویی آفت کش ها به منابع آبی

شستشوی سطحی و آبتشویی آفت کش ها دو فرایند مهم در انتقال آن ها به منابع آبی است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آفت کش، اولین زمان بارندگی پس از مصرف آفت کش، مدت و شدت آن، میزان و نحوه مصرف، فرمولاسیون آفت کش، و خصوصیات خاک (توپوگرافی، نفوذ پذیری و پوشش سطحی) و شرایط محیطی فاکتور هایی هستند که بر آبتشویی آفت کش ها تاثیر دارند. از دست رفتن آفت کش ها در اثر این پدیده (که شامل قسمتی از آفت کش ها که بصورت محلول یا رونشینی شده روی رسوبات است) حدود ۲ درصد میزان مصرف شده است، ولی این میزان در مطالعاتی که با استفاده از بارندگی های مصنوعی به

^۱ Groundwater ubiquity score

۳. اثرات جانبی آفت‌کش‌ها در محیط

زیست

۱.۳. بقایای آفت‌کش‌ها در گیاهان و محصولات

غذایی

همانگونه که قبلا بیان شد، سهم ناچیزی از تمام آفت‌کش‌هایی که استفاده می‌شوند مستقیماً در مکانیسم آفت‌کش‌ها نقش دارند و بیشتر آفت‌کش‌های مورد استفاده مسیر خود را به صورت بقایا در محیط طی نموده و وارد زنجیره‌های غذایی، آبی و خاکی شده و ممکن است اثرات جانبی بر سلامت موجودات زنده و انسان داشته باشند. از آنجا که غذا نیاز اساسی بشر برای زندگی است، آلودگی این منابع حیاتی می‌تواند اثرات جانبی زیادی را بر سلامتی انسان داشته باشد. رونشینی آفت‌کش‌ها توسط گیاهان و انتقال آن‌ها به قسمت‌های خوراکی گیاهی یک پدیده کاملاً آشکار است (Rosa, 2008). بقایای آفت‌کش‌ها در منابع غذایی و گیاهان زراعی نتیجه مستقیم کاربرد آفت‌کش‌ها در گیاهان زراعی که در مزرعه رشد می‌کنند، و در حد کمتر از بقایای آفت‌کش‌هایی که در خاک باقی می‌مانند (Rosa, 2008). به علاوه، میزان متوسط بقایای آفت‌کش‌ها در مواد غذایی در کشور‌های در حال توسعه بیشتر از ملل توسعه یافته است. برای مثال، در یک مطالعه‌ای در کشور مصر گزارش شده است که ۶۰ تا ۸۰ درصد از کل نمونه‌های شیر که برای ۱۵ آفت‌کش مختلف مورد بررسی قرار گرفت دارای بقایای آفت‌کش‌ها بودند (Pimental, 1998).

دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی مسئول

نظارت و قانون‌گذاری بر مصرف آفت‌کش‌ها

هستند، و حداکثر میزان قابل قبول^۱ آفت‌کش شاخصی است که برای نظارت بر بقایای آفت‌کش‌ها در محصولات غذایی ارائه شده است. زمانی که آفت‌کش‌ها بر اساس عملیات کشاورزی خوب^۲ استفاده می‌شوند غلظت آن‌ها در محصولات کشاورزی نباید از حد میزان مجاز آفت‌کش بیشتر باشد. کاربرد نامناسب آفت‌کش‌ها منجر به آلودگی محیطی و خطرات بالقوه‌ای را برای انسان به همراه دارد. مشکلات بقایا در کشور‌های در حال توسعه به علت فقدان نظارت دولت‌ها و آگاهی کمتر تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان بیشتر بوده و نیاز به توجه بیشتری دارد. در نتیجه، مصرف‌کنندگان مواد غذایی در این کشور‌ها با محصولات غذایی مواجه هستند که ممکن است دارای میزان بقایا در حد غیر قابل قبول باشند. بقایای بسیاری از آفت‌کش‌ها در دامنه وسیعی از سبزیجات (هویج، کاهو، تربچه، و کلم‌ها) و محصولات غذایی (شیر، قهوه و نان) و میوه‌ها در بیشتر کشورها یافت شده است (Hura, 1999; Cengiz, 2007).

۲.۳. بقایای آفت‌کش‌ها در منابع آبی

در سال‌های اخیر، بقایای آفت‌کش‌ها در منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی بسیاری از کشورها گزارش شده است. هم منابع آب‌های سطحی و هم آب‌های زیرزمینی باید از ورود آفت‌کش‌ها محافظت شوند. از آنجا که تجزیه آفت‌کش‌ها در آب‌های زیرزمینی بسیار کندتر از بقیه محیط‌ها است، و رقیق شدن بقایای آفت‌کش‌ها در آن به سرعت صورت نمی‌گیرد و همچنین این منابع برای آبیاری، و آشامیدنی برای انسان و حیوانات اهلی

^۱ Maximum Residue Limits (MRLs)

^۲ Good agricultural practice

استفاده می شوند بتوانند به گیاهان زراعی صدمه وارد نمایند (Ishihara, 2005).

آلودگی منابع آب های زیر زمینی توسط آفت کش ها به آسانی قابل حل نیست و جلوگیری از آلودگی منابع آبی بهترین راه حل برای کاهش ورود بقایای آفت کش ها به این منابع آبی است. مثال های زیادی از آلودگی منابع آب های زیر زمینی به وسیله آفت کش ها در منابع موجود است. بقایای آفت کش های مورد استفاده در برنج و اثرات جانبی آن ها بر این اکوسیستم های آبی در رودخانه های ژاپن یافت گزارش شده است (Ishihara, 2005; Cengiz, 2007).

در یک بررسی در کشور سوئد طی ۱۰ سال (۱۹۸۹ تا ۱۹۹۹) در نمونه های آبی که از رودخانه ها برداشت شد، ۳۹ آفت کش (شامل ۳۱ علف کش، ۴ قارچ کش، و ۴ حشره کش) و ۳ متابولیت علف کش شناسائی شد. مشخص شده است که بقایای آفت کش ها توانسته اند بدون بارندگی قبلی وارد منابع آبی شوند. این نتیجه ریزش اتفاقی آفت کش ها در نتیجه پر و تمیز کردن دستگاه های و وسائل سمپاشی روی سطوح که زهکش های آن ها در ارتباط مستقیم با جریان های آب است اتفاق می افتد. همچنین، کاربرد علف کش ها برای کنترل علف های هرز در مزارع علت ۲۰ درصد ورود کل آفت کش ها به منابع آبی است (Ishihara, 2005).

۳.۳. اثرات جانبی آفت کش ها بر سلامتی

انسان

شاید اثرات جانبی آفت کش ها بر انسان و بیماری های مرتبط با آن ها بالاترین هزینه ای باشد

مورد استفاده قرار می گیرد، آلودگی آب های زیر زمینی اهمیت بسیار زیادی دارد. به طور کلی، آلودگی منابع آبی ارتباط مستقیمی با میزان آلودگی محیط دارد. پس از اینکه آلودگی های موجود در هوا با آب باران به سمت زمین انتقال می یابد، قبل از حرکت به سمت رودخانه ها، منابع آبی زیر زمینی و دریاچه ها در سطح زمین انتشار می یابد. از آنجا که آب آشامیدنی و آبیاری از آب های سطحی و زیر زمینی تامین می شود، هر گونه مواد شیمیائی موجود، ممکن است منابع آبی را آلوده نماید. اهمیت آلودگی منابع آب های سطحی به اندازه آب های زیر زمینی نیست. اغلب آب های سطحی (بجز دریاچه های عمیق) سرعت برگشت پذیری نسبتا سریع دارند، بدین معنی که بقایای آفت کش ها در آب های سطحی به سرعت رقیق می شود.

بقایای آفت کش ها در آب های زیر زمینی یک مشکل بسیار جدی محسوب می شوند، زیرا سرعت گردش منابع آب زیر زمینی ممکن است به اندازه چند ماه باشد، چند سال و یا چند دهه زمان نیاز داشته باشد. به علت عدم وجود اکسیژن در آب های زیر زمینی و وجود میکروارگانیسم در یک محیط بدون اکسیژن، تجزیه آفت کش ها بسیار کند صورت می گیرد و پایداری آن ها ممکن است برای مدت طولانی افزایش یابد. مهمترین خطر آلودگی منابع آب های زیر زمینی توسط آفت کش ها پتانسیل اثرات سمی آن ها برای انسان و حیوانات اهلی است. بعلاوه به علت اینکه علف کش ها بیشترین موارد مصرف را در کشاورزی دارند، و این احتمال که منابع آبی زیر زمینی که برای آبیاری استفاده می شوند ممکن است برای آبیاری گیاهان زراعی

احتمال وجود تهدید به سرطان در انسان نیز بعید نیست. آفت‌کش‌های دیگری از جمله کارباریل در دزهای بالا می‌تواند سیستم ایمنی حیوانات را در آزمایشگاه مختل نماید. محققینی در کالیفرنیا، ارتباط بین خطر سرطان پرستات در کارگران مزرعه‌ای که در تماس زیاد با علف‌کش‌ها بودند را گزارش کرده‌اند. موسسه سرطان ملی آمریکا در یک مطالعه در بخش کشاورزی که تقریباً ۹۰ هزار شرکت‌کننده را در ایوا و کارولینای شمالی را شامل می‌شد ارتباط افزایش خطر سرطان را با مصرف ۶ آفت‌کش مرتبط دانست (Jacobson, 2006; Pimental, 1998).

۴. ارزیابی اثرات آفت‌کش‌ها بر محیط

زیست

از آنجا که نمونه برداری و اندازه‌گیری بقایای آفت‌کش‌ها در اجزاء مختلف محیط به خصوص در کشورهای در حال توسعه بسیار پرهزینه است، یافتن روش‌هایی که بتوان اثرات سمیت آفت‌کش‌ها را بر محیط و سلامتی انسان کمی، و آفت‌کش‌های پرخطر را شناسایی نمود از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. شاخص‌های ارزیابی مخاطرات آفت‌کش‌ها به سیاست‌گذاران بخش کشاورزی و حتی دولت‌ها کمک می‌کند تا روند خطرات آفت‌کش‌ها را در طول زمان بررسی و سلامتی اکوسیستم را در سطح ملی مورد ارزیابی قرار دهند. این شاخص‌ها همچنین امکان ارزیابی روند پیشرفت و موفقیت سیاست‌های اعمال شده به منظور کاهش خطرات آفت‌کش‌ها را امکان‌پذیر می‌سازند (Levitan, 2000).

با در نظر گرفتن عکس‌العمل انسان و دیگر

که جامعه انسانی برای مصرف آفت‌کش‌ها پرداخت می‌نماید. در مقیاس جهانی، به طور متوسط هر سال ۲۶ میلیون سمیت در نتیجه مصرف آفت‌کش‌ها گزارش می‌شود، که تقریباً ۳ میلیون مورد مسمومیت حاد و ۲۲۰ هزار مورد احتمال مرگ وجود دارد. وضعیت در کشورهای در حال توسعه بسیار وخیم‌تر است، با وجود اینکه این کشورها فقط ۲۰ درصد از کل آفت‌کش‌های مورد استفاده در جهان را مصرف می‌کنند، ولی نسبت بالائی از مسمومیت‌های ناشی از آفت‌کش‌ها در این کشورها منجر به مرگ می‌شود، زیرا استاندارد‌های ایمنی شغلی به خوبی رعایت نمی‌شود. قوانین و مقررات ناکافی، دستورالعمل‌ها و برچسب‌های ضعیف آفت‌کش‌ها، بیسوادی و دانش کم در مورد خطرات آفت‌کش‌ها مواردی است که خطرات ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها را در کشورهای در حال توسعه افزایش داده است (UNEP, 1997).

در حالی که سمیت‌های حاد ناشی از مصرف بیشتر آفت‌کش‌ها به خوبی مورد بررسی و تایید قرار گرفته است، اطلاعات در مورد رابطه آفت‌کش‌ها با بیماری‌های مزمن انسان از قبیل سرطان‌ها به خوبی مشخص نشده است. بر اساس برآورد‌های موجود، یک درصد از سرطان‌ها در آمریکا مربوط به آفت‌کش‌ها است. موارد بسیار زیادی از عقیمی در انسان و حیوانات دیگر، بخصوص در جنس‌های مذکر، مربوط به مواد شیمیایی و آفت‌کش‌های موجود در محیط است. برای مثال، بقایای آترازین، آلاکلر، و استوکلر که بعنوان علف‌کش در گیاهان علوفه‌ای استفاده می‌شوند، سبب ایجاد تومورهای در حیوانات آزمایشگاهی شده است. وقتی آفت‌کش‌ها توانائی ایجاد تومور‌ها را در حیوانات دارد

موجودات زنده در محیط زیست ارزیابی مخاطرات مورد توجه قرار گرفت و توسط آکادمی علوم ملی در آمریکا این فرایند در چهار مرحله ارائه شد. این چهارچوب می تواند برای ارزیابی مخاطرات آفت-کش ها در محیط زیست به آسانی مورد استفاده قرار گیرد. اجزاء این چهارچوب عبارتند از ۱. شناسایی خطر^۲. ارزیابی تماس (میزان و مدت زمان) با آفت کش ها ۳. مدل سازی دز-پاسخ، و ۴. مشخص نمودن میزان خطر. در اولین مرحله که شناسایی خطر است، آفت کشی که دارای پتانسیل ایجاد پاسخ های متفاوت را در موجود زنده داشته باشد شناسایی می شود. دومین مرحله، اندازه جمعیتی که در معرض آفت کش ها قرار گرفته است نسبت به میزان و مدت زمان تماس با آفت کش و همچنین، الگو، میزان و مسیر رسیدن آفت کش ارزیابی می شود. در مرحله سوم، مدل سازی دز-پاسخ و یا غلظت-پاسخ برای یافتن ارتباط بین افزایش میزان مدت مان تماس آفت کش با نوع پاسخ هدف انجام می شود. در نهایت، اطلاعات بدست آمده از سه مرحله قبل میزانی را که یک ماده شیمیائی (در اینجا آفت کش) می تواند خطراتی را برای سلامتی یک محیط داشته باشد ارزیابی می کند. در واقع خطر^۱ یک ماده شیمیائی تابع دو فاکتور وسیع است، پتانسیل ماده شیمیائی برای صدمه به سیستم بیولوژیک و پتانسیل آن برای رسیدن به موجود زنده به طریقی که صدمه بتواند صورت پذیرد. به عبارت دیگر، خطر تابع دو پارامتر متفاوت است که یکی اثرات سمی و دیگری مدت و میزان تماس با ماده شیمیائی است که در فرمول زیر نشان داده شده

است.

اثرات سمی \times میزان ومدت تماس = خطر
علامت ضرب در بین دو فاکتور نشان می دهد که در صورت عدم وجود هر یک از اثرات سمی و عدم تماس با آفت کش هیچگونه خطری وجود نخواهد داشت. بر عکس واژه ریسک از نظر مفهومی پیچیده تر است زیرا در تعریف آن میزان برآورد احتمال پیشامد یک اثر جانبی بر هدف (انسان یا محیط زیست) نیز نهفته است. بنابراین باید گفت که ارزیابی ریسک یک مرحله پس از ارزیابی خطر است (Reus, 2002; Van der Werf, 1996).

۱.۴. شاخص های ارزیابی مخاطرات آفت کش ها

چندین مدل به منظور بررسی اثرات مخاطرات آفت کش ها بر محیط پیشنهاد شده است که این مدل ها را می توان در سه گروه طبقه بندی کرد: (۱) مدل هایی که به وسیله لئونارد در سال ۱۹۹۰ پیشنهاد شد که معمولا سرنوشت آفت کش ها را در محیط بررسی می کند. در این مدل ها اطلاعات جزئی از فرایندهای میکروبی، شیمیایی و فیزیکی کنترل کننده پایداری و انتقال آفت کش ها در محیط ضروری است. این مدل ها بیشتر بر رفتار آفت کش ها در محیط تاکید دارد و اثر آنها را بر اکوسیستم نادیده میگیرد. ۲. روش های رتبه بندی که برای اولین مرتبه در طی سال های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۵ مورد استفاده قرار گرفت و در این مدل ها اثرات متفاوت آفت کش ها نیز در نظر گرفته شد (Jurasko, 2007). از دو گروه مدل های فوق می توان به CHEMS, EIQ, MATF, PERI, EPRIP, EYP, SyPEP, SYNOPS اشاره

¹ Hazard

که اطلاعات مربوط به سمیت، پارامترهای شیمیایی و داده‌های مربوط به میزان مصرف را در مدل استفاده می‌کند. پس از محاسبه غلظت پیش‌بینی شده محیطی، اعداد به دست آمده بر داده‌های مربوط به سمیت آفت‌کش‌ها تقسیم می‌شود. شاخص دیگری به نام PERI برای کشور سوئد طراحی شد و بر اساس آن کشاورزان را قادر می‌ساخت تا با استفاده از این مدل خطرات محیطی آفت‌کش‌ها را در طول زمان ارزیابی نمایند. این مدل بر اساس رتبه‌بندی خصوصیات مربوط به آفت‌کش‌ها را مورد بررسی قرار داده و سمیت آفت‌کش‌ها را بر اساس مقیاس ۱ تا ۵ ارزیابی می‌کند. اجزاء محیطی که در این مدل مورد بررسی قرار می‌گیرند شامل آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و هوا می‌باشد. به جای در نظر گرفتن هر یک از اجزاء محیطی به طور جداگانه، این مدل تمام متغیرها را از اجزاء مختلف محیط به صورت گروهی در یک معادله بررسی می‌کند. شاخص MATF در سال ۲۰۰۲ به منظور مشاوره به کشاورزان سیب‌زمینی‌کار در آمریکا برای ارزیابی خطر آفت‌کش‌هایی که در مزارع فوق با استفاده از برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات مورد استفاده قرار می‌گیرند معرفی شده است. این مدل مقادیر فاکتور سمیت را بر اساس سمیت حاد و مزمن برای پستانداران، اثرات اکولوژیکی آفت‌کش‌ها و اثرات آنها بر موجودات مفید را محاسبه می‌کند. شاخص EIQ مدل دیگری است که در سال ۱۹۹۲ معرفی شد. در واقع این مدل به وسیله متخصصین مدیریت تلفیقی آفات به منظور مشاوره به سبزیکاران و میوه‌کاران نیویورک طراحی شد (Reus, 2002). خطرات آفت‌کش‌ها را برای کارگران مزرعه،

نمود. این مدل‌ها در مواردی همچون اهداف کاربرد، نوع اجزاء و اثرات محیطی مورد مطالعه، و روش ارزیابی با یکدیگر متفاوت هستند. برای مثال، مدل SYNOPSIS پتانسیل خطرات آفت‌کش‌ها را در کشور آلمان بررسی نمود تا آفت‌کش‌هایی را که اثرات مخرب بیشتری بر محیط دارند را شناسایی کند. SyPEP در سال ۱۹۹۹ برای شرایط و گیاهان زراعی بلژیک معرفی شد. این مدل غلظت آفت‌کش‌ها را در آب‌های سطحی و زیرزمینی پیش‌بینی می‌کند. پس از محاسبه غلظت پیش‌بینی شده، مقایسه آن با حداکثر غلظت مجاز آفت‌کش در هر یک از اجزاء محیطی امکان‌پذیر می‌شود. در این مقایسه غلظت مجاز حداکثر بر غلظت پیش‌بینی شده محیطی تقسیم و نتیجه آن بر اساس مقیاس ۱ تا ۵ رتبه‌بندی می‌شود. مدل EYP برای استفاده در کشور هلند طراحی شد. این مدل غلظت محیطی آفت‌کش‌ها را در آب‌های زیرزمینی، سطحی و خاک بر اساس میزان مصرف استاندارد ۱ کیلوگرم در هکتار محاسبه می‌کند. پس از محاسبه این استاندارد، مقدار آن در دز واقعی ضرب شده تا در مدل مورد استفاده قرار گیرد. برای تعیین غلظت در آب‌های زیرزمینی، EYP از برنامه‌های شبیه‌سازی برای پیش‌بینی میزان آبتوی آفت‌کش‌ها استفاده می‌کند.

EPRIP مدل دیگری است که به وسیله ترویسان و همکارانش در سال ۱۹۹۹ برای مطالعه اثرات آفت‌کش‌ها در ایتالیا معرفی شد. این مدل غلظت آفت‌کش‌ها را در آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی، خاک و هوا پیش‌بینی می‌کند (Reus, 2002). برای پیش‌بینی آفت‌کش در هر یک از اجزاء محیطی، این شاخص چندین معادله

شیمیایی مربوط به آن‌ها و همچنین سرنوشت آفت کشها را در محیط در نظر گرفته و بر این اساس آفت کشها را رتبه بندی نموده و با اطلاعات مربوط به سمیت آن‌ها تلفیق می‌کنند (Alister; 2006; Levitan, 2000). برای ارزیابی اثرات آفت کشها بر سلامتی انسان و محیط زیست، نیاز به یک روش رتبه بندی آفت کشها است که نه تنها اثرات سمی و تجمع آفت کشها را در موجودات زنده در نظر گیرد، بلکه پایداری و انتقال آفت کشها را در محیط نیز در مدل وارد نماید. به دنبال دستورالعملی که در مورد اصول توسعه شاخص های ارزیابی مخاطرات آفت کشها در سال ۱۹۹۷ تدوین شد، اطلاعات مربوط به میزان و شرایط استفاده از آفت کشها باید با اطلاعات مربوط به خطرات آن‌ها تلفیق شود (Levitan, 2000).

۲،۴. طبقه بندی شاخص ها بر اساس روش مطالعه

به طور کلی شاخص های ارزیابی را می توان با توجه به روش مطالعه خطر به دو گروه تقسیم بندی نمود: (۱). گروهی از شاخص ها که از روش رتبه بندی برای ارائه میزان خطر آفت کشها استفاده می کند و (۲) گروهی از شاخص ها که غلظت محیطی آفت کشها را پیش بینی و آن را با روش های رتبه بندی ترکیب و بر اساس آن میزان خطر را ارائه می دهد. در روش رتبه بندی، مقادیر بدون واحد تعیین و داده ها را بر سمیت آفت کش برای انسان و یا دیگر موجودات مفید تقسیم نموده و در نتیجه رتبه نهائی را ارائه می دهد. بسته به نوع شاخص، معادلات مختلفی این دو رتبه (نمره) را تقسیم یا ضرب نموده تا یک نمره نهائی را برای یک ماده

استفاده کنندگان و موجودات زنده خاک بر اساس روش رتبه بندی محاسبه می‌کند. در این روش، اطلاعات مربوط به سمیت و پارامترهای شیمیایی رتبه بندی می‌شود. سپس این رتبه بندی ها در معادلات مربوطه وارد شده تا در شاخص نهایی EIQ وارد گردد. برای محاسبه این شاخص تمام داده های عددی و مطلق به اعداد ۱، ۳ و ۵ تبدیل شده که عدد ۱ نشانگر حداقل سمیت آفت کش، عدد ۳ بیانگر سمیت یا اثر متوسط و عدد ۵ نشان دهنده سمیت حداکثر یا بیشترین اثر منفی بر محیط می باشد. محدودیت در نمره دهی (فقط ۱، ۳ و ۵) و بنابراین احتمال تکراری بودن شاخص برای آفت کش ها یکی از معایب این شاخص است. برآورد حدود ۳۲۲ آفت کش با استفاده از مدل EIQ در سایت اینترنتی زیر قابل دسترس است.

http://www.nysipm.cornell.edu/publications/eiq/files/EIQ_values04.pdf

مدل شاخص محیطی 1 CHEMS خطرات بالقوه آفت کشها را با استفاده از روش رتبه بندی بررسی و خطرات آن‌ها را برای انسان و محیط زیست محاسبه می کند. این مدل اثرات محیطی آفت کشها را بر هوا، خاک، آبهای زیر زمینی و سطحی در نظر می گیرد. روش های قدیمی تر ارزیابی عمدتاً بر مقایسه سمیت یا مقدار آفت کشی که در مزرعه مصرف می شوند تاکید داشته است. هرچند خطرات آفت کشها نمی تواند با میزان مصرف آفت کش و یا فقط با میزان سمیت آن‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد زیرا آفت کش های مختلف سرنوشت متفاوتی در محیط داشته و اثرات آن‌ها نیز متفاوت خواهد بود. اخیراً، روش های ارزیابی خطرات آفت کشها خصوصیات فیزیکی و

۳،۴. قابلیت اعتماد شاخص‌های ارزیابی مخاطرات آفت‌کش‌ها

در ارزیابی‌های مخاطرات آفت‌کش‌ها برای هر یک از اجزاء محیطی و سلامتی انسان، باید قابلیت اعتماد هر یک از شاخص‌ها مورد بررسی قرار گیرد، این مسئله می‌تواند با داده‌های سال‌های متفاوت و یا مزارع مختلف مورد بررسی قرار گیرد. در بعضی موارد ممکن است همبستگی معنی‌داری بین نتایج شاخص‌های ارزیابی مخاطرات آفت‌کش‌ها از یک سال به سال دیگر و حتی از یک مزرعه به مزرعه دیگر وجود نداشته است. در این صورت نمی‌توان به نتایج شاخص‌های ارزیابی اعتماد نمود. شاید یکی از دلایل عدم همبستگی نتایج شاخص‌ها با یکدیگر روش نوع داده‌های است که برای کمی نمودن میزان خطر استفاده می‌کنند. برای مثال، برخی از شاخص‌ها پتانسیل آبتشویی را برای بسیاری از متابولیت‌های آفت‌کش‌ها در نظر نمی‌گیرد و یا ممکن است یک شاخص دو مسیر انتشار (فرار آفت‌کش، آبتشویی سطحی) آفت‌کش‌ها را به منابع آب‌های سطحی در نظر گیرد، در صورتی که بعضی از شاخص‌ها فقط فرار آفت‌کش‌ها را به عنوان تنها مسیر انتقال آن در مدل استفاده نمایند. برخی شاخص‌ها مدل‌های کامپیوتری ساده‌ای را برای ارزیابی استفاده می‌کنند ولی بعضی از مدل‌ها معادلات پیچیده‌تری برای محاسبه میزان خطرات استفاده می‌کنند (Levitan, 2000; Reus, 2002).

۴،۴. داده‌های مورد نیاز برای شاخص‌های ارزیابی آفت‌کش‌ها

همان‌گونه که در جداول ۴ و ۵ نشان داده شده است هر یک از شاخص‌های ارزیابی آفت‌کش‌ها

موثره آفت‌کش‌ها به دست آورد. سپس با ضرب یا تقسیم رتبه خطر بالقوه در میزان مصرف، این نوع شاخص‌ها می‌توانند یک رتبه خطر برای هر بار مصرف یک ماده موثره آفت‌کش برآورد نمایند. گروه دوم شاخص‌ها، بر اساس یک روش قابل سنجش تری از میزان غلظت (بقایای) برای ارزیابی خطر بالقوه تکیه دارد. در این نوع روش، مدل از معادلاتی به منظور محاسبه میزان بقایای آفت‌کش‌ها در آب، هوا و خاک استفاده می‌کند. از آنجا که سمیت یک آفت‌کش به غلظتی از آن که در اجزاء محیطی (آب، هوا، و خاک) وجود دارد بستگی دارد، بنابراین، در این روش غلظتی از آفت‌کش که در محیط پیش‌بینی می‌شود با غلظتی که هیچ‌گونه اثر جانبی بر موجودات زنده ندارد^۱ مقایسه می‌شود (Alister, 2006; Levitan, 2000; Reus, 2002). با مرور منابع موجود در زمینه شاخص‌های ارزیابی مخاطرات آفت‌کش‌ها می‌توان به ۴ شاخص که معمولاً از روش رتبه‌بندی و ۴ شاخص که اساس روش آن استفاده از پیش‌بینی میزان غلظت در اجزاء محیطی است اشاره کرد که هر یک از این مدل‌ها و کشور‌های معرفی‌کننده آن‌ها در جدول ۲ آمده است. اهداف و مقیاس مطالعه هر یک از مدل‌های ارزیابی در جدول ۳ نیز آورده شده است. با توجه به در نظر گرفتن طولانی بودن و محدودیت در ارائه تمام مدل‌ها و پارامترهای آن‌ها، مدل‌های این شاخص‌ها، چگونگی استفاده از آن‌ها، و جزئیات مربوط به هر یک از مدل‌ها در لینک زیر برای خوانندگان قابل استفاده است: www.aftresearch.org/ipm/risk/equations.pdf

¹ Predicted no effect concentration (PNEC)

های سیاسی است. تصمیم نهائی در مورد چگونگی مدیریت خطر مربوط به استفاده از یک آفت کش (برای مثال ممنوعیت د.د.ت) طبیعتاً یک تصمیم سیاسی است، اما باید به خاطر داشت که اساس تصمیم گیری در مدیریت خطر باید با استفاده از روش ارزیابی خطر باشد که یک موضوع کاملاً علمی است (Reus, 2002). در روش های مدیریت مخاطرات آفت کش ها باید با شناسایی مسیر های ورود آفت کش ها به محیط زیست و فاکتور های موثر بر آنها باید به مواردی از جمله فرار قطرات آفت کش در زمان های سمپاشی (هوائی و زمینی)، خطرات آفت کش ها در منابع آب های سطحی و زیر زمینی، بقایای آفت کش ها در محصولات کشاورزی و غذائی، تامین امنیت و سلامت شغلی برای کارگران و کشاورزان پرداخته شود. روش هائی را که می توان در جهت کاهش اثرات زیست محیطی و مخاطرات آفت کش ها مورد توجه قرار داد در جداول ۶ و ۷ آورده شده است.

۶,۴. مطالعه موردی

با توجه به مشکلات موجود در مدل های ارزیابی مخاطرات آفت کش ها تعدادی از آفت-کش های موجود کشور با استفاده از مدل PestScreen که در سال ۲۰۰۷ به عنوان یک مدل ارزیابی مخاطرات آفت کش ها پیشنهاد شده است مورد ارزیابی قرار گرفت. برعکس مدلهائی که در بخش های قبل مورد بررسی قرار گرفت این مدل پایداری کلی یک آفت کش یعنی مدت زمانی که یک آفت کش در محیط می تواند پایداری خود را حفظ نماید، پتانسیل انتقال آنها را از مکان مصرف، نسبت رونشینی انسانی یعنی نسبتی از

به یک سری از داده هائی نیاز دارد تا بتواند یک خطر بالقوه را ارزیابی نماید. برای مثال، SYNOPSIS و EYP نیاز به داده های زیادی برای ارزیابی مخاطرات آفت کش ها دارند. به علت نیاز به داده های کمتر برای شاخص های EIQ و MATF، این شاخص ها برای کشاورزان و مشاورانی که در این زمینه تخصص کافی ندارند ممکن است مناسب باشد ولی، محققین و دولت ها باید برای ارزیابی آفت کش ها از مدلهائی استفاده نمایند که هرچند ممکن است به داده های بیشتری نیاز داشته باشد، ولی قابلیت اعتماد آنها بیشتر خواهد بود.

۵,۲. مدیریت خطرات آفت کش ها

برای اکثر محققین، ارزیابی و مدیریت مخاطرات آفت کش ها معمولاً به صورت یک مفهوم در نظر گرفته می شود و این دو مقوله به خوبی از یکدیگر تفکیک نمی شود. باید بین ارزیابی و مدیریت مخاطرات آفت کش ها تمایز قائل شد تا بتوان تصمیماتی را که اساس آنها علمی نیست شناخت. ارزیابی خطر همان گونه که قبلاً بحث شد، فرایندی است که احتمال رخداد یک پدیده مشخص را که در یک شرایط خاص اتفاق می افتد بیان می کند. بالعکس، مدیریت خطر، فرایندی است که بر اساس آن مدیران می توانند تصمیم بگیرند که آیا یک خطر پیش آمده نیاز به مدیریت دارد و روش های انجام آن برای حفاظت منابع محیطی و سلامت جامعه چیست (Leviton, 2000).

مدیریت خطر تصمیمات اتخاذ شده بر اساس اطلاعاتی که در مرحله قبلی یعنی ارزیابی خطر جمع آوری می شود با در نظر گرفتن ارزشهای اجتماعی و فرهنگی، واقعیت های اقتصادی و فاکتور

یک شاخص ورود آفت کش به محیط در نظر گرفته می شود و بنابراین از شاخص های خطر جدا می شود. هر یک از زیر شاخص های E، F و T با استفاده از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کلیدی آفت کش ها محاسبه می شود (Levitan, 2000).

با توجه به شکل های فوق بر اساس رتبه بندی مدل Pestscreen رتبه خطر تیودیکارب و دیازینون به ترتیب ۱/۱ و ۱۴/۶ است که نشان دهنده خطر بالاتر دیازینون نسبت به تیودیکارب است. هرچند، پتانسیل بالای انتقال و سمیت زیاد تیودیکارب برای پستانداران باید در مصرف این حشره کش مورد توجه قرار گیرد. در مورد قارچ کش ها ایپرودیون و دینوکاپ با رتبه ۸/۱ و ۳/۳ نشان دهنده بالاتر بودن میزان خطر ایپرودیون است. در این مورد نیز باید سمیت بالای دینوکاپ را برای موجودات آبی مد نظر قرار داد. برای دو علف کش مورد مطالعه رتبه خطر دس مدیفام و بنتازون با ۰/۴ و ۷/۱ نشان دهنده بالاتر بودن خطر بنتازون است.

۷،۳. معایب و مشکلات شاخص های ارزیابی

مخاطرات آفت کش ها و ارائه پیشنهادات

در حال حاضر نحوه ارزیابی مخاطرات آفت کش ها روز به روز کامل تر و از پارامتر های بیشتری با استفاده از مدل هایی که سرنوشت آفت کش ها را در محیط های مختلف را بررسی می کند استفاده می شود و با در نظر گرفتن سمیت آفت کش ها برای اکوسیستم های طبیعی و سلامتی انسان به سمت بهبود مدل ها و نزدیک نمودن نتایج آن ها با واقعیت تلاش می شود. در حال حاضر شاخص ها قادر به ارزیابی اثرات سینرژیستیکی آفت کش ها در مواردی که آفت کش های مختلف

آفت کش وارد شده در محیط که در نهایت وارد بدن انسان می شود را محاسبه و وارد مدل می نماید. به علاوه، این مدل روشنی قابل قبول روزانه^۱ که برآوردی از مقدار آفت کشی است که می تواند بطور روزانه در طول زندگی به وسیله یک فرد روشنی شود بدون اینکه اثرات زیانباری بر مصرف کننده داشته باشد را در جدول وارد می کند. این مقدار معمولاً براساس میلی گرم ماده شیمیایی در کیلوگرم وزن بدن در روز بیان می شود. اثرات آفت کش ها بر محیط زیست و انسان بستگی به (۱) مقدار ماده موثره و محل مصرف آن، (۲) انتشار آن بین اجزاء مختلف محیطی و (۳) سمیت آن برای گونه های موجود در این اجزاء دارد. با در نظر گرفتن تمام اثرات فوق، محاسبه یک اثر نهایی برای مقایسه آفت کش ها از دیدگاه نگرانی های موجود برای انسان و محیط زیست می تواند به وسیله فرمول زیر صورت پذیرد (Levitan, 2000; Reus, 2002).

$$PestScore = D \times \left(\frac{\sum F_{i=2}}{2} + \frac{E_{i=1}}{1} + \frac{\sum T_{i=4}}{4} \right)$$

در این فرمول شاخص به دست آمده یک تمایز بین مقدار مصرف آفت کش و سه گروه مختلف خطر یعنی سرنوشت (F)، در معرض آفت کش قرار گرفتن (E) و سمیت (T) آن قائل می شود. برای هر یک از اجزاء اندازه مساوی در نظر می گیرد و نشان دهنده تعداد شاخص هایی است که در هر یک از اجزاء مورد استفاده قرار می گیرد. رتبه نهایی شاخصی است که بر اساس میزان خطر که در آن مقدار صفر در زمانی که هیچ آفت کشی مصرف نمی شود گزارش می شود. مقدار مصرف به عنوان

^۱ Acceptable daily intake (ADI)

این مقاله ارزیابی مخاطرات آفت کش ها در ایران در صورتیکه هدف رتبه بندی آفت کش ها به منظور شناخت آفت کش های پر خطر و جایگزین نمودن این گروه از آفت کش ها با آفت کش هایی که خطرات آنها کمتر است، به شرط استفاده از مدل هایی که اثرات سمیت مزمن برای انسان و موجودات زنده را در نظر بگیرد می تواند مفید باشد و انجام این تحقیقات باید با در نظر گرفتن مدیریت آفت کش ها باشد تا بتواند جنبه عملی پیدا نماید. از نگاه زیست محیطی و اثرات جانبی آفت کش ها بر اکوسیستم های طبیعی ارزیابی مخاطرات آفت کش ها در کشور حتما باید مبتنی بر اندازه گیری میزان واقعی بقایای آن ها در محیط های مختلف (آب، محصولات کشاورزی و غیره) استوار باشد تا بتوان به مدیریت کاهش این مخاطرات کمک نمود.

با هم استفاده می شوند نیستند. محدودیت در نمره دهی (فقط ۱، ۳ و ۵) که احتمال تکراری بودن رتبه را برای آفت کش ها بوجود می آورد. در نظر گرفتن اولویت یا اهمیت (وزن دادن) دادن به منظور انعکاس اهمیت نسبی اجزاء مختلف محیطی مشکل دیگر این شاخص ها است. بنابراین با در نظر گرفتن مشکلات فوق در ارزیابی مخاطرات آفت کش ها باید به سهولت دسترسی به اطلاعات مورد نیاز، در نظر نگرفتن اهمیت یا اولویت ندادن به بعضی از اجزاء، داشتن دامنه وسیعتری از رتبه بندی به منظور تمایز بین اندازه گیری ها، و نزدیک بودن به مفهوم تکنیکی خطر (احتمال اتفاق \times اندازه خطر) مورد توجه قرار گیرد (Jurasko, 2007; Levitan, 2000). در کشور ما به دست آوردن داده های قابل اعتماد یکی از مشکلات موجود در ارزیابی مخاطرات آفت کش ها است. به اعتقاد نگارندگان

جدول ۱. میزان آفت کش های مورد استفاده در محصولات کشاورزی مختلف و مناطق مختلف جهان (Pan, 2005)

Table 1. Pesticides used in different agricultural crops and different world regions.

درصد مصرف	مناطق مختلف جهان	درصد مصرف	گیاهان زراعی/ باغی مختلف
۳۰	آمریکای شمالی	۲۵	سبزیجات و میوه جات
۲۶	اروپای غربی	۱۴	غلات
۲۵	شرق آسیا	۱۲	برنج
۱۱	آمریکا جنوبی	۱۱	ذرت
۳	اروپای شرقی	۱۰	پنبه
۵	بقیه جهان	۸	سویا
		۳	چغندر قند
		۲	کلزا
		۱۵	گیاهان دیگر

جدول ۲. شاخص های ارزیابی بر اساس روش ارزیابی آفت کش ها

Table 2. Purpose, scale and stage of development of the indicator.

PERI	SyPEP	EPRIP	Ipest	p-EMA	SYNOPS	EYP	هدف شاخص ها
•		•	•	•		•	مشاوره به کشاورزان
•	(•)	•	•	•	(•)	•	مشاوره به مروجین کشاورزی
	•	(•)			•	(•)	سیاست گذاران
•						(•)	مصرف کنندگان و صنایع غذایی
	•		(•)			(•)	سازمان های آب
							مقیاس شاخص ها
(•)		•	•	(•)		•	سطح آفت کش
•		•	•	•	(•)	•	سطح گیاهی
•	(•)	(•)	•	•	(•)	•	مزرعه ای
	•				•	(•)	منطقه ای
	•				•	(•)	ملی

علامت • در جدول به معنی این است که شاخص مورد نظر برای هدف و مقیاس مورد نظر توسعه یافته است. علامت (•) بیان کننده این مطلب است که این شاخص برای هدف و مقیاس مشخص شده توسعه نیافته ولی در عمل برای آن منظور استفاده می شود.

جدول ۳. طبقه بندی برخی از شاخص ها با قابلیت رتبه بندی و پیش بینی غلظت آفتکشها و کشور هائی که این شاخص ها توسعه یافته است (Reus,2002)

Table 3. Classification of ranking and environmental predictive of some pesticides risk indicators country in which the indicator was developed

پیش بینی غلظت محیطی آفت کش	بر اساس رتبه بندی
EPRIP (ایتالیا)	CHEMS 1 (آمریکا)
EYP (هلند)	EIQ (آمریکا)
SyPEP (بلژیک)	MATF (آمریکا)
SYNOPS (آلمان)	PERI (سوئد)

" مروری بر سرنوشت آفت کش ها و ارزیابی مخاطرات... "

جدول ۴. داده های مورد نیاز برای شاخص های ارزیابی مخاطرات آفت کش ها (Levitan,2000,Reus,2002).

Table 4. Site Specific Data Requirements for Pesticide Risk Indicators.

EQI	MATF	EYP	SYNOPS	p-EMA	Ipest	EPRIP	SyPEP	PERI	داده های مکانی
		•	•		•		•		روش کاربرد
•	•	•	•	•	•	•	•	•	میزان مصرف در هکتار
		•	•						تاریخ سبز شدن و برداشت گیاه
		•							عمق جوی ها
		•	•						اندازه مزرعه
			•		•	•			شیب مزرعه
			•						درصد میزان آب در حاشیه مزارع
		•			•	•			رس، ماده آلی، سیلت و شن در خاک
		•				•			وزن مخصوص ظاهری خاک
		•							افقی های خاک (تعداد و ضخامت)
		•	•		•	•	•	•	میزان ماده آلی
		•							اسیدیته خاک
			•						عرض حاشیه ها در مزرعه
									داده های آب و هوایی
									میانگین رطوبت نسبی
		•						•	درجه حرارت ماکزیمم و مینیمم روزانه
		•	•			•	•		بارندگی روزانه
		•							تابش روزانه خورشید
		•		•					سرعت باد

جدول ۵. داده های مواد موثره آفت کش ها برای شاخص های ارزیابی مخاطرات آفت کش ها

Table 5. Pesticide active ingredient data requirements for pesticide risk indicators.

EQI	MATF	EYP	SYNOPS	p-EMA	Ipest	EPRIP	SyPEP	PERI	خصوصیات ماده موثره آفت کش ها
	•								برآورد اثرات بر غدد درون ریز
•									تعیین اثرات سیستمیک
			•						نیمه عمر (هیرولیز) گیاه
			•						نیمه عمر (تجزیه نوری)

ادامه جدول ۵:

•	•	•	•	•	•	•	•	•	نیمه عمر (خاک)
				•	•				ثابت قانون هنری
				•					ضریب جذب آب/اکتانال (Kow)
	•	•							فاکتور توانانی انکوژنیک
		•	•	•	•	•	•	•	ضریب جذب (Koc)
		•	•						وزن مولکولی
	•								دز مرجع (Rfd)
		•							فشار بخار
		•							حلالیت در آب
									داده‌های سمیت مواد موثره آفتکش‌ها
		•	•	•	•	•	•		جلبک (LC50)
									خصوصیات ماده موثره آفت کش‌ها
•	•								زنبور (LD50 تماسی)
•	•								اثر بر موجودات مفید
		•		•	•	•	•		ماهی قزل آلا (LC50)
		•	•	•	•	•	•		دافنیا (LC50)
		•	•						دافنیا (NOEC)
		•	•						کرم های خاکی (LC50 NOEC)
•									برآورد اثرات نمو
•									برآورد پتانسیل آبشویی
•									برآورد پتانسیل رواناب
•		•	•						ماهی (LC50)
			•						ماهی (NOEC)
•	•								مالارد (LD50)
		•							مقاومت به حشره کش‌ها
•	•								خرگوش (LD50 خوراکی)

" مروری بر سرنوشت آفت کش ها و ارزیابی مخاطرات... "

جدول ۶. مدیریت فرار آفت کش ها از بوم ها و در سطح زمین

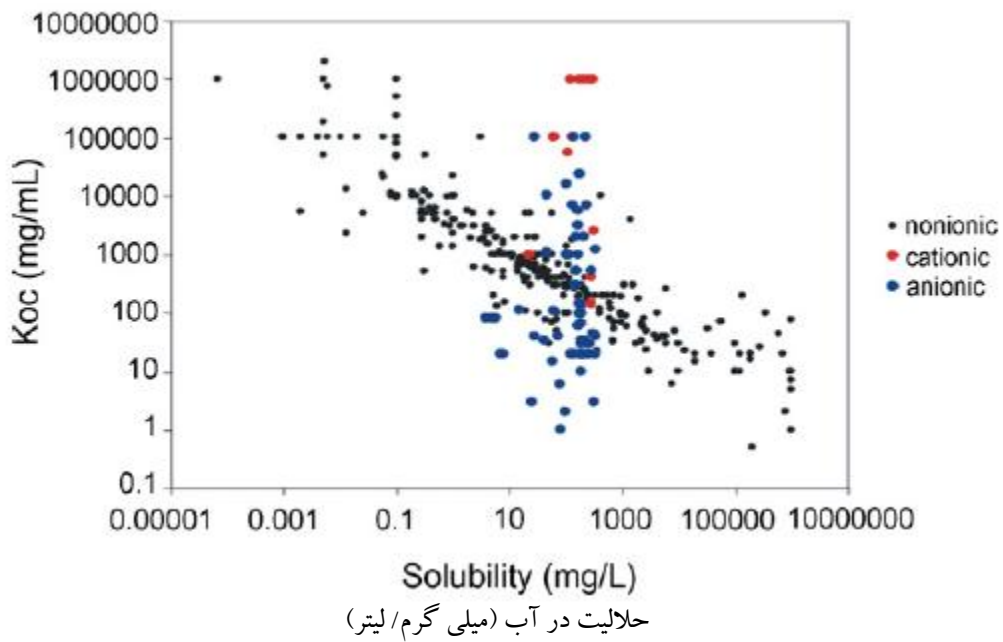
Table 6. Managing ground and boom spray-drift

فاکتور ها	روش های کاهش خطرات فرار آفت کش ها در بوم های تراکتوری و دستی در سطح زمین
سرعت باد/ پایداری هوا	سمپاشی در صبح زمانی که باد یکنواخت با سرعت نسبتاً کم (کمتر از ۲۰ کیلومتر در ساعت)، درجه حرارت کم (۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی گراد) و رطوبت متعادل
اندازه قطرات	قرار دادن بوم سمپاش در ارتفاعی از زمین که اندازه قطرات سم در حدود ۳۰۰ تا ۶۰۰ میکرومتر باشد
ارتفاع سمپاشی	کاهش ارتفاع بوم سمپاش با استفاده از نازل هائی با فرار کم سم

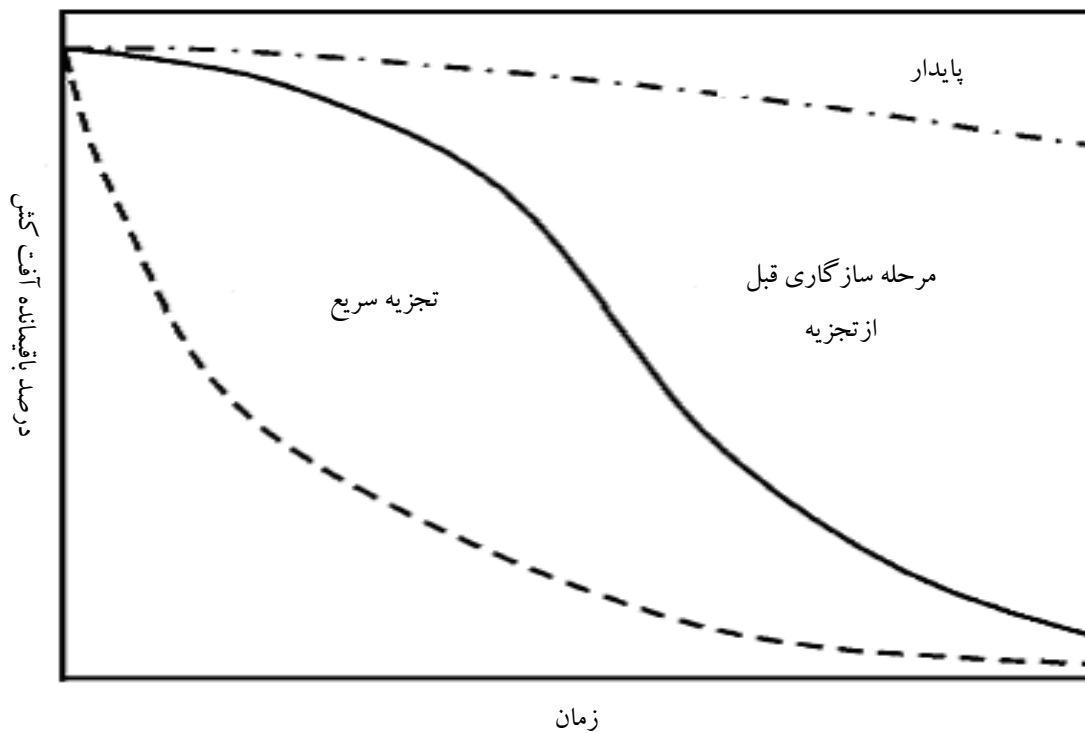
جدول ۷. مدیریت ورود بقایای آفت کش ها به منابع آب های سطحی

Table 7. Managing pesticide entry into surface water

مسیر های ورود و فاکتور ها	روش های کاهش ورود آفت کش ها به منابع آبی
فرار آفت کش	تعبیه یک فاصله کافی در مناطق حساس با منابع آبی از قبیل دریاچه ها، رودخانه ها یا تالاب ها مدیریت پوشش های گیاهی (پرچین ها و غیره) در نزدیکی مسیر های آبی کاهش ارتفاع بوم سمپاشی (از ۵۰۰ تا ۳۰۰ میلی متر) با استفاده از نازل های کم کننده فرار قطرات سم
جریان آب سطحی و رواناب ها	اتخاذ تکنولوژی های کاهش فرار آفت کش مانند شرایط آب و هوائی مناسب و کاهش ارتفاع سمپاشی با استفاده از بوم های مخصوص به منظور سمپاشی با اندازه قطرات مناسب مدیریت خاک سطحی از جمله استفاده از سیستم های شخم حداقل استفاده از منطقه پیشگیری با استفاده از تیمارهای مختلف در سطح زمین مانند نوارهای پوششی گیاهی کاهش شدت بارندگی، بهبود روش های آبیاری که بتواند میزان آبی که در زهکش ها از مزرعه خارج می شود را کاهش دهد. بهینه نمودن میزان مصرف آفت کش ها زمان دقیق استفاده از آفت کش ها و بررسی جزئیات شرایط آب و هوائی در زمان سمپاشی اسفاده از روش های تلفیقی مبارزه با آفات و سیستم های کشاورزی تلفیقی حفظ یا پیشگیری از رواناب ها، بهترین حالت جلوگیری از خروج رواناب ها از مزارع
پایش بقایای آفت کش ها	استفاده از یک برنامه منظم پایش آفت کش ها در زمان فصل های زراعی



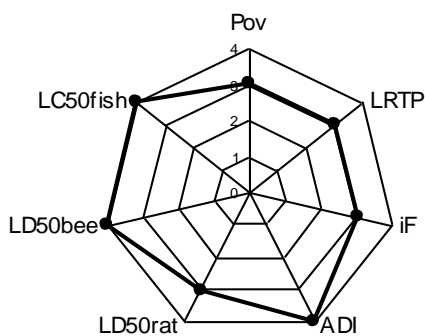
شکل ۱. رابطه بین ضریب جذب و حلالیت در آب آفت کش‌ها آنیونی، کاتیونی و بدون بار (خنثی) در خاک
 Figure 1. Correlation of sorption coefficient (Koc) and water solubility of anionic, cationic and neutral pesticides in soil.



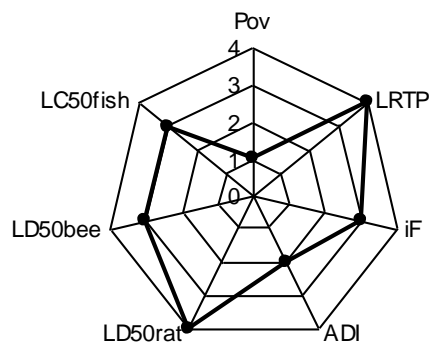
شکل ۲. انواع مختلف تجزیه میکروبی آفت کش‌ها
 Figure 2. Various microbial degradation of pesticides.

" مروری بر سرنوشت آفت کش ها و ارزیابی مخاطرات ..."

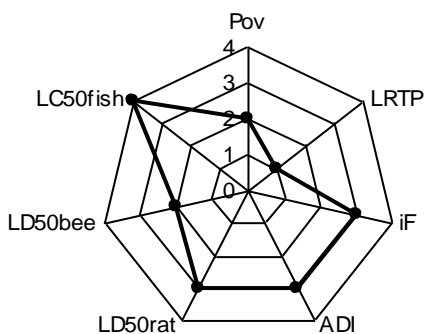
دیازینون



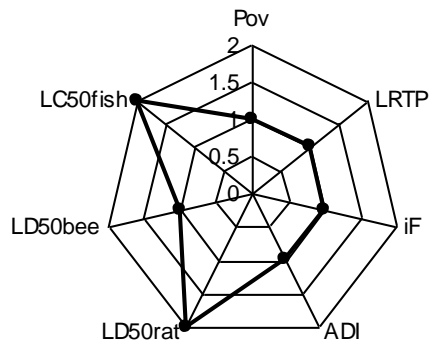
تیودیکارب



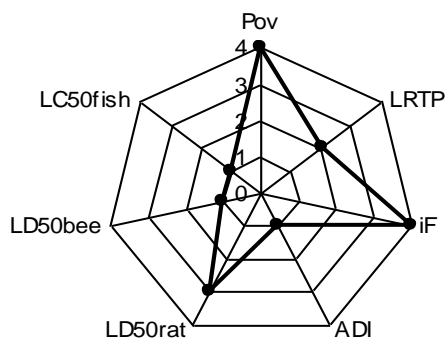
دینوکاب



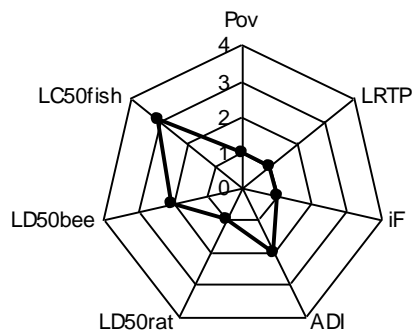
ایپرودیون



بنتازون



دس مدیفام



شکل ۳. گراف های مربوط به توزیع خطرات مختلف و رتبه مثال هائی از آفتکشهای مورد استفاده در کشور. P_{ov} پایداری کلی آفت کش، $LRTC$ پتانسیل انتقال آن ها از محل مصرف، iF نسبت جذب انسانی یعنی نسبتی از آفت کشی که در نهایت وارد بدن انسان می شود ADI جذب قابل قبول روزانه که برآوردی از مقدار آفت کشی است که می تواند بطور روزانه در طول زندگی به وسیله یک فرد جذب شود بدون اینکه اثرات زیان باری بر مصرف کننده داشته باشد.

Figure 3. Risk distribution graphs of some pesticides example.

P_{ov} (overall persistence), $LRTC$ (long-range transport potential), intake fraction (iF), representing the fraction of the quantity of pesticide emitted that enters the human population, Acceptable daily intake (ADI) refers to the estimate of the amount of a pesticide that can be ingested daily over a lifetime without appreciable health risk to the consumer

Reference

فهرست منابع

- Arias-Estevez, M.; Lopez-Periago, E.; Martinez-Carballo, E.; Simal-Gandara, J.; Mejuto, J. C.; Garcia-Rio, L.,** 2008. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 123, 247-260
- Bolan, N.S., Baskaran, S.,** 1996. Biodegradation of 2,4-D herbicide as affected by its adsorption-desorption behaviour and microbial activity of soils. *Aust. J. Soil Res.* 34, 1041-1053.
- Cengiz M F, Certel M, Karakas B & Gocmen H,** 2007. Residue contents of captan and procymidone applied on tomatoes grown in greenhouses and their reduction by duration of a pre-harvest interval and post-harvest culinary application. *Food Chemistry* 100, 1611-1619.
- Croft, B. A.,** 1990. *Arthropod Biological Control Agents and Pesticides* (J. Wiley & Sons, New York,
- Dyson J. S., Beulke S., Brown C. D., Lane M. C. G.** 2002. Adsorption and degradation of the weak acid mesotrione in soil and environmental fate implications. *J. Environ. Qual.* 31:613-618.
- Finizio, A., Villa, S.,** 2002. Environmental risk assessment for pesticides: A tool for decision making. *Environ. Impact Assess. Rev.* 22, 235-248.
- Garbarino J.R.** 2002. Contaminants in Arctic snow collected over northwest Alaskan sea ice, *Water Air Soil Poll.*, 139, 183.
- Gil Y., and Sinfort C.** 2005. Emission of pesticides to the air during sprayer application: A bibliographic review. *Atmospheric Environment* 39: 5183-5193
- Hamilton, D., and Crossley S.,** 2004. *Pesticide Residues in Food and Drinking Water Series: Wiley Series in Agrochemicals and Plant Protection* John Wiley & Sons, Ltd
- Harris, J.** 2001. *Chemical Pesticide Markets, Health Risks and Residues, Biopesticides Series 1,* CABI Publishing 64pp.
- Hura C., Leanca M, Rusu L & Hura B A** 1999. Risk assessment of pollution with pesticides in food in the Eastern Romania area (1996-1997). *Toxicology L.* 107: 103-107.
- Ishihara S, Horio T, Kobara T, Endo S, Ohtsu K, Ishizaka M,** 2005. Concentrations of herbicides used in rice paddy fields in river water and production, in *Environmental Fate and Safety Management of Agrochemicals*, ed. By Marshall Clark and Hideo Ohkawa. American Chemical Society, Washington, DC, pp. 112-123.
- Jacobson, M.F.** 2006. *Six Arguments for a Greener Diet.* Center for Science in the Public Interest. Washington, DC.
- Kah, M. S. Beulke, S, and C.D. Brown .**2007. Factors influencing degradation of pesticides in soils. *J. of Food Agric. Chem.* 55, 4487-4492
- Katagi, T.** 2004. Photodegradation of pesticides on plant and soil surfaces. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 182:1-195.
- Lehmann R. G., Miller J. R., Laskowski D. A.** 1990. Fate of fluroxypyr in soil. II. Desorption as a function of incubation time. *Weed Res.* 30:383-388.
- McKinlay R., Plant, J.A., J.N.B. Bell and N. Voulvoulis,** 2008. Endocrine disrupting pesticides: Implications for risk assessment. *Environment International* 34:168-183.
- Milosevic N, Cvijanovic G & Tintor B** 2006. Herbicides effects on microbial activity in agricultural soil. *Herbologia* 7: 57-70.
- Oliveira, R.S., W.C. Koskinen, and F.A. Ferreira.** 2001. Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. *Weed Res.* 41:97.
- Palis F.G, Flor RJ, Warburton H, Hossain M.**2006. Our farmers at risk: behaviour and belief system in pesticide safety. *Journal of Public Health,* 28, 43-48.

- PAN. List of lists.** 2005. A catalogue of lists of pesticides identifying those associated with particularly harmful health or environmental impacts. Pesticide Action Network.
- Paoletti M.G., and D. Pimentel.** 2000. Environmental Risks of Pesticides Versus Genetic Engineering for Agricultural Pest Control. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 12,279-303.
- Parlar, H.** 1990. The role of photolysis in the fate of pesticides, p. 245–276, In D. H. Hutson and T. R. Roberts, eds. *Progress in Pesticide Biochemistry and Toxicology*, Vol. 7. Wiley, New York.
- Pimentel, D., H. Acquay, M. Biltonen, P. Rice, M. Silva, J. Nelson, V. Lipner, S. Giordano, Horowitz, and M. D'Amore.** 1993. Assessment of Environmental and Economic Impacts of Pesticide Use," in D. Pimentel and H. Lehman (eds.), *The Pesticide Question: Environment, Economics, and Ethics* (Chapman & Hall, New York, pp. 47–83.
- Pimentel, D.,** 1995. Amounts of pesticides reaching target pests: environmental impacts and ethics. *J. Agric. Environ. Ethics*, 8: 17-29.
- Pimentel, D.,** 1997. *Techniques for Reducing Pesticide Use. Economic and Environmental Benefits* (J. Wiley & Sons, New York, 1997).
- Pimentel, D. and A. Greiner,** 1997. Environmental and Socio-Economic Costs of Pesticide Use," in D. Pimentel (ed.), *Techniques for Reducing Pesticide Use: Environmental and Economic Benefits* (J. Wiley & Sons, Chichester, UK, pp. 51–78.
- Pimentel, D. and H. Lehman (eds.).** 1997. *The Pesticide Question: Environment, Economics, and Ethics* (Chapman & Hall, New York).
- Pimentel, D., A. Greiner, and T. Bashore.** 1998. Economic and Environmental Costs of Pesticide Use, in J. Rose (ed.), *Environmental Toxicology: Current Developments* (Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, The Netherlands,) pp. 121–150.
- Rao, P.S.C., Bellin, C.A., Brusseau, M.L.,** 1993. In Sorption and Degradation of Pesticides and Organic Chemicals in Soil. SSSA Special Publication Number 32, Wisconsin, pp. 1–26.
- Rochette E. A. and Koskinen W. C.** 1996. Supercritical carbon dioxide for determining atrazine sorption by field-moist soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:453-460.
- Rosa M. Gonza'lez-Rodri'guez, R. Rial-Otero, R., Cancho-Grande, B., and J. Simal-Ga'ndara,** 2008. Occurrence of fungicide and insecticide residues in trade samples of leafy vegetables. *Food Chemistry* 107:1342–1347
- Shen L.,** 2005. Atmospheric distribution and long range transport behavior of organochlorine pesticides in North America, *Environ. Sci. Tech.*, 39, 409.
- Sukul, P., and M. Spittler.** 2001. Influence of biotic and abiotic factors on dissipating metalaxyl in soil. *Chemosphere* 45:941–947.
- Taylor, A.W., and W.F. Spencer.** 1990. Volatilization and vapor transport processes, p. 213–269, In W. Madison, ed. *Pesticides in the Soil Environment*. Soil Sci. Society of America Book Series, USA.
- UNEP.** 1997. *Global Environmental Outlook*, United Nation Environmental Programme, Kenya.
- Von Oepen B., Kördel W., Klein W.** 1991. Sorption of nonpolar and polar compounds to soils: processes, measurements and experience with the applicability of the modified OECD-Guideline 106. *Chemosphere* 22:285-304.
- Wauchope R. D., Yeh S., Linders J. B. H. J., Kloskowski R., Tanaka K., Rubin B., Katayama A., Kördel W., Gerstl Z., Lane M., Unsworth J. B.** 2002. Pesticide soil sorption parameters: theory, measurement, uses, limitations and reliability. *Pestic. Manag. Sci.* 58:419-445.