

## باقیمانده آفت‌کش‌ها در خاک‌های زراعی و شالیزارها؛ اهمیت آن در سلامت زنجیره غذایی و محیط زیست

محمد کاظم رمضان‌ی\*  
\* نویسنده مسئول: kazem.ramezani@gmail.com

دانشیار پژوهش، موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

\* نویسنده مسئول: kazem.ramezani@gmail.com

### چکیده

جذب، تجزیه و انتقال آفت‌کش‌ها در خاک به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم بر سرنوشت آفت‌کش‌ها تأثیر می‌گذارد. با توجه به تفاوت اکوسیستم شالیزارها به دلیل شرایط کاهش و یا نبود اکسیژن، سرنوشت آفت‌کش‌ها متمایز از خاک‌های زراعی معمولی است. شرایط بی‌هوای خاک‌های برنج تغییرات شیمیایی را در محیط ریشه ایجاد می‌کند که بر سرنوشت آفت‌کش‌های مورد استفاده در شالیزارها تأثیر زیادی دارد. مدت زمان شرایط بی‌هوای می‌تواند بر ترکیب جامعه میکروبی تأثیر گذار و سرنوشت آفت‌کش‌ها را تغییر دهد. میزان و غلظت آفت‌کش‌ها در خاک‌های زراعی و شالیزارها به نحوه جذب آن‌ها به خاک و سرعت تجزیه آن‌ها بستگی دارد. انتقال آفت‌کش به عنوان فاکتور کلیدی در ارزیابی پتانسیل آلودگی منابع آبی استفاده می‌شود که این مساله در شالیزارهای کشور اهمیت دارد. با محاسبه شاخص پتانسیل انتقال به منابع آبی برای آفت‌کش‌های برنج، آفت‌کش‌هایی که ریسک بالایی برای منابع آبی داشتند تعیین و مشخص شد. ریسک آبخوبی علفکش‌ها و قارچ‌کش‌ها در مزارع برنج و خطرات آن برای آلودگی منابع آبی در شالیزارها بیشتر از حشره‌کش‌ها می‌باشد. آلودگی محیط زیست خاک‌ها در شالیزارها یک مشکل جهانی است. بنابراین، نیاز به افزایش آگاهی از مساله و پیامدهای آن بر بهره‌وری محصولات زراعی، سلامت زنجیره غذایی و همچنین محیط زیست اهمیت زیادی دارد. آفت‌کش‌های برنج بر اساس پتانسیل انتقال یا عدم انتقال (احتمال تجمع) طبقه‌بندی شده است.

**واژگان کلیدی:** باقیمانده آفت‌کش‌ها، شالیزار، جذب و تجزیه

### مقدمه

یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی غیرنقطه‌ای<sup>۱</sup> در اراضی کشاورزی افزایش مصرف آفت‌کش‌ها در سال‌های اخیر بوده است. مشخص شده است که ۷۰ درصد آفت‌کش‌های مصرف شده در نهایت وارد خاک شده و منجر به آلودگی خاک‌ها در مزارع می‌شوند. آفت‌کش یک واژه عمومی است که به هر نوع ماده‌ای که برای از بین بردن، کنترل، فرار دادن یا کاهش آفت به کار برده می‌شود اطلاق می‌شود. حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، جونده‌کش‌ها و غیره همگی آفت‌کش محسوب می‌شوند. یک آفت‌کش دارای یک یا تعداد بیشتری ماده موثره است که با مواد دیگری فرموله می‌شود. نقش اثرات استفاده از آفت‌کش‌ها در کشاورزی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای موثر در افزایش عملکرد در سیستم‌های مدرن کشاورزی به اثبات رسیده است. بر اساس گزارش‌های موجود، آفت‌کش‌ها می‌توانند از حدود ۴۰ درصد کاهش محصولات کشاورزی جلوگیری کنند. بنابراین، مصرف آن‌ها از نظر اقتصادی و اجتماعی کاملاً قابل توجیه است ولی باید در نظر داشت که این فواید بدون هزینه‌های اجتماعی و زیست محیطی نخواهد بود. در اغلب مطالعات انجام شده میزان آفت‌کشی که به هدف می‌رسد کمتر از یک درصد گزارش شده است (پی‌منتال، ۱۹۹۷). جذب و تجزیه آفت‌کش‌ها در خاک دو فرآیند کلیدی در تعیین سرنوشت آفت‌کش‌ها پس از مصرف هستند. به محض ورود آفت‌کش به خاک، مولکول آن بین فاز مایع و جامد تقسیم می‌شود. میزان تمایل مولکول آفت‌کش در یکی از فازها هر یک از جنبه‌های دیگر آن را تحت تأثیر قرار خواهد داد (رمضان‌ی، ۱۳۹۲).

خاک‌های شالیزار بخشی از اراضی قابل کشت است که برای تولید برنج در شرایط نیمه هوازی (نیمه آبی) استفاده می‌شود. شرایط بی‌هوازی خاک‌های برنج تغییرات شیمیایی را در محیط ریشه گیاه ایجاد می‌کند. تغییر در اسیدیته محیط بر ترکیبات حساس به شرایط اکسیداسیون مانند اکسیژن، آهن، منگنز، نیتروژن، گوگرد، و کربن تاثیر می‌گذارد. حذف اکسیژن از محیط خاک شالیزار منجر به تغییراتی می‌شود که میزان این تغییرات با توجه به نوع خاک و وضعیت مواد آلی، عناصر غذایی خاک و فعالیت‌های میکروبی متغیر است. از نظر زیست محیطی و سلامت زنجیره غذایی خاک‌های بی‌هوازی دو ویژگی مهم دارند. یک موضوع این است که خاک‌های شالیزاری یکی از منابع اصلی ایجاد گاز متان که یک گاز گلخانه‌ای قوی است به حساب می‌آیند و دیگری سرنوشت متفاوت آلاینده‌هایی مانند باقیمانده آفت‌کش‌ها است که بر سلامت محیط زیست و همچنین سلامت زنجیره غذایی تاثیر گذار هستند. آلودگی محیط زیست مرتبط با خاک‌های شالیزار یک مشکل جهانی است و می‌تواند بر معیشت و امنیت غذایی میلیاردها انسان تاثیر بگذارد (آدهیا، ۲۰۱۵). بنابراین، اطلاع از سرنوشت باقیمانده آفت‌کش‌ها در خاک‌های زراعی و همچنین شالیزارها نیاز به آگاهی بیشتری دارد زیرا آگاهی از این مساله و پیامدهای آن بر بهره‌وری محصولات زراعی، سلامت زنجیره غذایی و همچنین سلامت منابع آبی اهمیت بسیار زیادی دارد. در این مقاله بر فرآیندها و فاکتورهایی که بر آفت‌کش‌ها در خاک تاثیر می‌گذارد پرداخته خواهد شد و اکوسیستم شالیزار به عنوان یک محیط متفاوت نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

## بیان مساله

۱- تجزیه آفت‌کش‌ها در خاک: تجزیه آفت‌کش‌ها در محیط ممکن است از طریق میکروارگانیسم‌ها (زیستی) و یا بدون دخالت آن‌ها (غیر زیستی) صورت گیرد. همانند فرایند جذب، خصوصیات شیمیایی یک آفت‌کش (ساختار شیمیایی، سمیت، حلالیت، غلظت و غیره) و همچنین شرایط محیط و خاک که بر فعالیت میکروارگانیسم‌ها تاثیر دارند، تجزیه آفت‌کش‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند. فاکتورهای محیطی شامل درجه حرارت، میزان رطوبت موجود در خاک، اسیدیته خاک‌ها، وجود عناصر غذایی، ترکیب گونه‌های میکروبی و توزیع میکروارگانیسم‌ها و آفت‌کش‌ها در خاک از فاکتورهایی هستند که در تجزیه آفت‌کش‌ها نقش دارند (بوس و کومار، ۲۰۲۱). در بخش بعدی تجزیه میکروبی و تجزیه شیمیایی آفت‌کش‌ها در خاک مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۲- تجزیه میکروبی آفت‌کش‌ها: میکروارگانیسم‌های اصلی موجود در خاک عبارت‌اند از جلبک‌ها، قارچ‌ها، اکتینومیست‌ها و باکتری‌ها. این موجودات در محیط خاک قادرند از آفت‌کش‌ها به عنوان منبع غذایی برای رشد استفاده کنند. به طور کلی میکروارگانیسم‌ها توانایی استفاده سریع از آفت‌کش‌ها پس از ورود به محیط خاک را دارند و در نتیجه امکان رشد سریع جمعیت و رسیدن به حالت تعادل در حضور آفت‌کش بوجود می‌آید. تجزیه آفت‌کش‌ها توسط میکروارگانیسم‌ها در خاک بسته به شرایط هوازی و بی‌هوازی متغیر است. فعالیت و جمعیت میکروارگانیسم‌ها به عواملی چون میزان غذای در دسترس، دما، رطوبت، اکسیژن، اسیدیته و میزان مواد آلی خاک بستگی دارد. تغییر ۱۰ درجه سلسیوس و یا تغییر در میزان رطوبت خاک (درصد ظرفیت مزرعه) می‌تواند سرعت تجزیه آفت‌کش در خاک را به میزان دو برابر افزایش دهد. اگر این شرایط برای میکروارگانیسم‌ها مساعد باشد، روند تجزیه میکروبی افزایش یافته و سرعت تجزیه آفت‌کش‌هایی که به تجزیه میکروبی حساس‌تر هستند، بیشتر می‌شود (آریاس و دیگران، ۲۰۰۸). تجزیه میکروبی همچنین تابع خواص شیمیایی آفت‌کش‌ها و شرایط زراعی نیز می‌باشد که می‌تواند سرعت تجزیه را کاهش و یا افزایش دهد. بهترین شرایط برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها در خاک درجه حرارت ۲۶ تا ۳۲ درجه سلسیوس، رطوبت ۵۰ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و اسیدیته بالای ۵/۵ بیان شده است (آریاس و دیگران، ۲۰۰۸).

۳- تجزیه شیمیایی آفت‌کش‌ها: در خصوص تجزیه شیمیایی باید گفت که برای برخی از ترکیبات، ابتدایی‌ترین روش برای شروع تجزیه آن‌ها، تجزیه به صورت شیمیایی است. گروه سولفونیل اوره از این ترکیبات هستند. در برخی از آفت‌کش‌ها روش تجزیه ممکن است تحت تأثیر فاکتورهای مانند اسیدیته خاک، درصد مواد آلی و بافت خاک قرار گیرند. اگر این فاکتورها تغییر کنند مسیر تجزیه از تجزیه شیمیایی به سمت تجزیه میکروبی و بالعکس تغییر خواهد کرد. هیدرولیز اصلی‌ترین روش تجزیه گروه برخی آفت‌کش‌های برنج می‌باشد که خود این موضوع تحت تأثیر اسیدیته خاک قرار دارد. به طور کلی تجزیه شیمیایی و میکروبی در خاک‌های با اسیدیته بالاتر کندتر صورت می‌پذیرد (پارکر و دیگران، ۲۰۱۹).

۴- جذب آفت‌کش‌ها در خاک: جذب سطحی آفت‌کش به معنای نگهداری آن در سطح یا درون بخش جامد خاک است. ذرات رس و مواد آلی موجود در خاک با ایجاد محل‌های پیوند بیشترین نقش را در جذب آفت‌کش‌ها در خاک دارند. زمانی که این دو پارامتر در خاک‌ها تغییر می‌کند مقدار جذب نیز تغییر پیدا خواهد کرد. جذب آفت‌کش‌ها توسط خاک به‌وسیله ضریب جذب، که نمایانگر نسبت غلظت آفت‌کش در فاز جامد (ذرات خاک) به غلظت آن در فاز مایع (محلول خاک) می‌باشد. هرگونه افزایش در میزان مواد آلی باعث افزایش میزان جذب می‌شود. در واقع جذب آفت‌کش در خاک پایداری آن را در محیط و پتانسیل آن را به عنوان عامل آلودگی منابع آبی، مشخص خواهد نمود. مولکول‌های جذب شده برای فعالیت‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی غیر قابل دسترس هستند و تا وقتی که به محلول خاک برنگردند، نمی‌توانند در این واکنش‌ها شرکت کنند. رابطه تأثیر میزان مواد آلی و میزان باقیمانده آفت‌کش‌ها در خاک برای آن‌هایی که جذب ضعیفی دارند ثابت و منطقی به نظر نمی‌رسد ولی در آفت‌کش‌هایی که اتصالات محکم‌تری برقرار می‌کنند بین میزان مواد آلی و کاهش باقیمانده آفت‌کش رابطه معنی‌دار وجود دارد. به طور کلی در خاک‌های خشک جذب بیشتر صورت می‌گیرد زیرا در خاک‌هایی که رطوبت وجود دارد، مولکول‌های آب با مولکول‌های آفت‌کش بر سر برقرار کردن پیوند در حال رقابت هستند و این موضوع باعث بالاتر رفتن درصد آفت‌کش در دسترس برای جذب توسط گیاه یا تجزیه در محیط می‌شود. رس موجود در خاک روی جذب آفت‌کش در خاک موثر است. میزان تجزیه آفت‌کش در خاک‌هایی با بافت سنگین در مقایسه با خاک‌هایی با بافت سبک‌تر، کندتر صورت می‌گیرد (کاه و دیگران، ۲۰۰۶).

۵- فاکتورهای موثر بر جذب و تجزیه آفت‌کش‌ها در خاک: فاکتورهای مرتبط با خاک از مهم‌ترین عوامل در تجزیه آفت‌کش‌ها می‌باشند. این عوامل با خصوصیات فیزیکی خاک اثر متقابل دارند و بر جذب و قابل دسترس بودن آفت‌کش‌ها در کوتاه مدت و بلند مدت تأثیر می‌گذارند. بیشترین قسمت از تجزیه آفت‌کش‌ها زمانی اتفاق می‌افتد که بخش قابل ملاحظه‌ای از آفت‌کش مصرف شده در خاک باقی می‌ماند و به بیان دیگر در محیط خاک گیر می‌افتد. اگرچه گیاهان توانایی متابولیزه کردن آفت‌کش‌ها را دارند ولی قسمت‌هایی از این ترکیبات یا متابولیت‌های آنان ممکن است پس از مرگ گیاه در محیط خاک آزاد شوند. این اتفاق باعث افزایش میزان این ترکیبات در خاک می‌شود که به مرور تجزیه خواهند شد. شاخص طبقه بندی ضریب جذب آفت‌کش‌ها در خاک در جدول ۱ نشان داده شده‌اند (وانگ و دیگران، ۲۰۱۹).

۶- فاکتورهای زراعی موثر بر پایداری آفت‌کش‌ها در خاک: عملیات زراعی مانند شخم، تناوب، اضافه کردن مواد اصلاح‌کننده به خاک و زمان سم پاشی روی تجزیه آفت‌کش‌ها تأثیر دارند. برخی عملیات زراعی با فشردن خاک می‌توانند باعث کاهش هوا و کاهش نفوذ آب شده که این دو عامل به ترتیب باعث کاهش فعالیت میکروارگانیسم‌ها و واکنش‌های شیمیایی مانند هیدرولیز خواهند شد. در رابطه با نقش تناوب و انتخاب گیاه مناسب، با کشت یک گیاه متحمل به آفت‌کشی که در فصل قبل استفاده شده است می‌توان بر میزان باقیمانده تأثیرگذار بود زیرا گیاهان متحمل با جذب و متابولیزه کردن این ترکیبات باعث تسریع در تجزیه آفت‌کش‌ها خواهند شد. با کاشت یک گیاه متحمل به باقیمانده آفت‌کش مصرف شده، زمان مناسبی برای حذف

و تجزیه آفت‌کش به وجود می‌آید و در کاشت بعد می‌توان گیاهان حساس را مورد کشت قرار داد. در طولانی مدت، انتخاب گیاهان در تناوب، روی میزان مواد آلی خاک اثر می‌گذارد که خود این عامل نیز در میزان باقیمانده آفت‌کش موثر است. نوع گیاه زراعی در مزرعه روی باقیمانده آفت‌کش موثر است. کشت برخی از گیاهان خاص در کرت‌های مشخص شده نشان داده است به دلیل جذب و متابولیزه نمودن آفت‌کش در گونه‌های مختلف گیاهان سرعت تجزیه در خاک‌هایی که در آن‌ها گیاه کشت می‌شود نسبت به خاک‌هایی که به صورت آیش رها می‌شوند، بیشتر است (سمیو اله، ۱۹۹۰). مهم‌ترین فاکتورهای موثر بر سرنوشت آفت‌کش‌ها در خاک در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی آفت‌کش‌ها بر اساس ضریب جذب<sup>۵</sup> در خاک

ضریب جذب خاک (میلی لیتر/گرم)	لگاریتم ضریب جذب (میلی لیتر/گرم)	طبقه بندی انتقال آفت‌کش‌ها
< ۱۰	< ۱	به شدت قابل انتقال
۱۰-۱۰۰	۱-۲	قابل انتقال
۱۰۰-۱۰۰۰	۲-۳	انتقال متوسط
۱۰۰۰-۱۰۰۰۰	۳-۴	نسبتاً قابل انتقال
۱۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰	۴-۵	قابلیت انتقال جزئی
> ۱۰۰۰۰	> ۵	غیر قابل انتقال

شخم زدن زمین باعث هوادهی و کاهش فشردگی خاک می‌شود. هر چقدر عمق و تعداد شخم بیشتر باشد هوادهی و سست شدن خاک بیشتر می‌شود. این اتفاق با افزایش سطح برای برقراری پیوند با مولکول‌های آفت‌کش و افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌های خاک باعث کاهش غلظت آفت‌کش در منطقه حضور ریشه می‌شود. مطالعات روی برخی آفت‌کش‌ها نشان داده است که باقیمانده آنها هنگامی که با خاک مخلوط می‌شوند بیشتر از زمانی است که در سطح خاک و بدون اختلاط مصرف می‌شوند چون شخم روی جمعیت میکروارگانیسم‌ها تأثیر دارد. در سیستم‌های بدون شخم بقایای گیاهانی که از کشت قبل روی سطح زمین باقی مانده‌اند بر میزان باقیمانده آفت‌کش‌ها تأثیر دارند. مالچ کاه و کلش روی خصوصیات خاک مانند اسیدیت، دما، رطوبت و جمعیت میکروارگانیسم‌ها اثر دارند. زمان بکار بردن آفت‌کش‌ها نیز در روند تجزیه آنها موثر است. در فصل بهار میزان رطوبت و دمای بالا برای مدت زمان بیشتری تداوم دارد و جمعیت میکروبی خاک زمان بیشتری برای تجزیه آفت‌کش‌هایی که در ابتدای فصل مصرف شده‌اند را در اختیار دارند. همچنین مدت زمان بیشتری برای فعل و انفعالات شیمیایی و جا بجا شدن از منطقه حضور ریشه تا قبل از بروز یخبندان وجود دارد. آفت‌کش‌هایی که در فصل پاییز بکار برده می‌شوند به دلیل کاهش دما و فعالیت تمایل بیشتری به باقی ماندن در خاک دارند. میزان حاصلخیزی خاک یکی از عوامل مهم در روند تجزیه آفت‌کش‌ها در خاک است که معمولاً نادیده گرفته می‌شود. سطح حاصلخیزی خاک می‌تواند روی رشد گیاهان زراعی تأثیر بگذارد که این عامل نیز در جذب آفت‌کش و متابولیزه شدن آن توسط گیاه موثر است. این موضوع باعث تغییر در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و میکروبی خاک به صورت مستقیم (اسیدیت) و غیر مستقیم (میزان مواد آلی، جمعیت و تنوع میکروارگانیسم‌ها) می‌شود (وانگ و دیگران، ۲۰۱۹).

جدول ۲- فاکتورهای موثر بر سرنوشت آفت کش ها در سطح/ درون خاک (آریاس و دیگران، ۲۰۰۸)

کاربرد آفت کش	(۱) میزان مصرف در هکتار، (۲) فرمولاسیون، (۳) روش کاربرد، (۴) جذب توسط باقیمانده گیاهان یا مالچ
شرایط اقلیمی	(۱) میانگین دمای روزانه، (۲) میانگین سرعت باد روزانه، (۳) میانگین رطوبت نسبی روزانه، (۴) میزان بارش روزانه (شدت، مدت و مقدار آن)، (۵) تعداد بارش ها، (۶) شسته شدن آفت کش از سطح گیاه یا باقیمانده گیاهی
پارامترهای موثر در خاک و رفتار آن ها	(۱) نوع خاک، (۲) مقدار مواد آلی، (۳) میزان رطوبت، (۴) اسیدیته خاک، (۵) پیشینه ی مصرف آفت کش های هم خانواده.
خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آفت کش ها	(۱) وزن مولکولی (۲) نقطه ذوب (۳) نقطه جوش (۴). تجزیه (شیمیایی و میکروبی) (۵) فشار بخار (۶) حلالیت در آب (۷). ضریب انتشار اکتانال/ آب (۸) فراریت (۹). جذب (۱۰) تجزیه نوری و هیدرولیز (۱۱) جذب و تجزیه زیستی (۱۲) اکسیداسیون و احیا (۱۳) کمپلکس شدن (۱۴) ثابت قانون هنری (۱۵) آبشویی (۱۶) ضریب تغلیظ زیستی (۱۷) انتشار (۱۷) واجذب (۱۸) ثابت اسید و باز (۱۹) ثابت میزان واکنش
فاکتورهای زراعی	(۱) تناوب های زراعی (۲) سیستم شخم (نوع شخم، عمق و تعداد شخم) (۳) اضافه کردن مواد برای اصلاح خاک (۴) اضافه کردن کود (۵) زمان کاشت (۶) فشردگی خاک

۷- **خصوصیات فیزیکی - شیمیایی آفت کش ها:** خصوصیات آفت کش ها اصولاً مربوط به نوع، تعداد و مکان گروه های عامل در مولکول آفت کش ها است. علاوه بر اثر گروه های عامل در مولکول آفت کش ها، قابلیت تجزیه زیستی با افزایش تعداد کربن، اندازه مولکول و تعداد حلقه ها در مولکول کاهش می یابد. ویژگی های خصوصیات آفت کش یکی از مهمترین فاکتورهای موثر بر روند تجزیه آن می باشد. در خصوص مدت زمان پایداری آفت کش در خاک، خصوصیات شیمیایی آفت کش با شرایط اقلیمی و شرایط خاک رابطه متقابل دارند. برخی از مهمترین خصوصیات شیمیایی مولکول های آفت کش که بر سرنوشت آنها تأثیر می گذارند در جدول ۲ آورده شده است. آفت کش هایی که حلالیت در آب و یونیزه شدن بالایی دارند به راحتی توسط آبشویی از منطقه ریشه شسته می شوند، ولی می توانند مدت زمان بیشتری به فرم آفت کش باقی بمانند. برخی از آفت کش ها دارای خاصیت قطبی و برخی دیگر غیر قطبی هستند. این خاصیت بر میزان حلالیت آفت کش در آب یا چربی، اثر گذار است. میزان حلالیت آفت کش در آب، آبشویی و بقای آن در خاک را تحت تأثیر قرار می دهد. هر چه ترکیب آفت کش قطبی تر باشد میزان حلالیت آن ترکیب در آب بیشتر خواهد بود (سیمس و کاریسینو، ۲۰۱۹).

۸- **شرایط محیطی موثر بر سرنوشت آفت کش ها در خاک:** اصلی ترین فاکتورهای محیطی که روی باقیمانده آفت کش ها تأثیر می گذارند، دما، رطوبت و نور آفتاب می باشند. تجزیه آفت کش ها با افزایش دما و رطوبت افزایش می یابد و دلیل آن افزایش فعالیت میکروبی و برخی از فعل و انفعالات شیمیایی مانند هیدرولیز در این شرایط است. پس در شرایط سرد و خشک که نتیجه آن کاهش فرآیندهای میکروبی و شیمیایی می باشد، پایداری بیشتر باقیمانده آفت کش ها در خاک را خواهیم داشت. شرایط اقلیمی با تأثیر بر رشد گیاهان زراعی روی باقیمانده آفت کش ها تأثیر گذار است. در هنگام مصرف آفت کش، هر چه آفت کش بیشتر به سطح گیاهان برسد در نتیجه آفت کش کمتری به سطح خاک پاشیده می شود و این عامل باعث کاهش پتانسیل میزان باقیمانده در خاک خواهد شد. همچنین گیاهان زراعی بطور غیر مستقیم با جذب و متابولیزه کردن ترکیبات آفت کش باعث کاهش حجم آفت کش در محیط خاک خواهند شد. شرایط جوی نامناسب مانند دمای پایین یا کم بودن نزولات آسمانی باعث

کاهش رشد گیاهان شده و از این طریق می‌تواند روی باقیمانده آفت‌کش‌ها موثر باشد. شرایط اقلیمی نامتعارف مانند باران‌های شدید و سنگین نیز روی باقیمانده آفت‌کش‌ها اثر می‌گذارند. در این شرایط به دلیل بروز فرسایش خاک و آبشویی، آفت‌کش، از منطقه حضور ریشه جا بجا و یا شسته می‌شود (پارگر، ۲۰۱۹).

**۹- سرنوشت باقیمانده آفت‌کش‌ها در خاک‌های شالیزار:** بر اساس آمار سازمان خوار و بار جهانی (فائو)، برنج در ۱۱۰ کشور جهان و در ۱۶۰ میلیون هکتار کشت می‌شود، تولید جهانی برنج حدود ۷۴۰ میلیون تن که ۹۰ درصد تولید و مصرف این محصول در آسیا است و ۹۶ درصد تولید برنج در کشورهای در حال توسعه است. متوسط عملکرد جهانی برنج ۳/۵ تن در هکتار می‌باشد. تجارت برنج ۹ درصد کل تجارت محصولات کشاورزی است که این رقم برای گندم ۲۳ درصد و برای ذرت ۱۴/۲ درصد است. بنابراین نقش برنج در تجارت جهانی برای کشورهای در حال توسعه مهمتر از گندم و ذرت است. استفاده از آفت‌کش‌ها برای جلوگیری از کاهش عملکرد و خسارت آفات و بیماری‌ها در برنج ضروری است. خاک‌های شالیزار بخشی از اراضی قابل کشت است که برای تولید برنج در شرایط نیمه هوایی (نیمه آبی) استفاده می‌شود. برنج، ماده اصلی برای تقریباً نیمی از جمعیت جهان کشت در اکوسیستم‌های مرتفع (آپلند) و دشت‌ها (غرقابی) کشت می‌شود. از آنجا که ۷۶ درصد تولید برنج جهان در شرایط غرقابی (با آبیاری مداوم) تولید می‌شود در گستره وسیعی از خاک‌های جهان وجود دارد. شرایط بی‌هوایی خاک‌های برنج تغییرات شیمیایی را در محیط زیسه گیاه (ریزوسفر) ایجاد می‌کند.

میزان و غلظت آفت‌کش‌ها در خاک شالیزارها به نحوه جذب آنها به مواد تشکیل دهنده خاک بخصوص کلونیدهای خاک و سرعت تجزیه آنها توسط میکروارگانیسم‌های خاک دارد. این عوامل به شرایط اکولوژیکی فصل استفاده از آفت‌کش‌ها مانند رطوبت موجود در خاک بستگی دارد. جذب و انتقال آفت‌کش‌ها در شالیزارها به رفتار یونی یا خنثی ذرات خاک، حلالیت در آب و طبیعت کلونیدی خاک‌ها در شالیزارها بستگی دارد. جذب آفت‌کش‌ها در شالیزارها به تجزیه و انتقال آنها در خاک بستگی دارد. به عنوان مثال، در شالیزارها، آفت‌کش آترازین در خاک‌هایی که رس کم یا مقدار مواد آلی کمی دارند نسبتاً قابل انتقال است. این آفت‌کش بیشتر به وسیله جذب فیزیکی یا شیمیایی به ذرات سیلیکات موجود در خاک متصل می‌شود. مشخص شده است که ویژگی‌های جذب آفت‌کش‌های لیندان، متیل پاراتیون و کربوفران به ذرات رس و مقدار ماده آلی خاک شالیزارها بستگی دارد. جذب آفت‌کش‌هایی که خاصیت اسیدی دارند در خاک شالیزاری توسط اسیدپته و کلرید کلسیم تحت تاثیر قرار می‌گیرد. مشخص شده است که میزان آب موجود در خاک بر تجزیه قارچ‌کش‌ها تاثیری ندارد. همچنین مشخص شده است که یک رابطه معکوس در تجزیه قارچ‌کش‌ها با دما وجود دارد. مهم‌ترین فاکتورهای موثر بر سرنوشت کلریپیریفوس میزان رطوبت خاک، ماده آلی، و میزان اسیدپته خاک بوده است. سرعت تجزیه کلریپیریفوس در خاکی که خشک است نسبت به خاک‌های شالیزارها به مراتب سریع‌تر است (پارکر و دیگران، ۲۰۱۹).

**۱۰- تجزیه و جذب آفت‌کش‌ها در شرایط غیر هوایی شالیزارها:** خاک‌های شالیزار ناهمگن و فعل و انفعالات پیچیده‌ای در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در شرایط غرقابی وجود دارد. این واکنش‌ها، همراه با تغییرات ایجاد شده ناشی از مدیریت، مانند خاک ورزی، افزودن آهک و استفاده از کودهای شیمیایی منجر به تغییر در خصوصیات خاک شالیزارها می‌شود. اطلاعات زیادی در خصوص رفتار و سرنوشت آفت‌کش‌ها در شرایطی که اکسیژن در محیط وجود دارد در منابع موجود است. نقش اکسیژن در تجزیه بیولوژیکی آفت‌کش‌ها پیچیده‌تر از نقش آن صرفاً به عنوان یک گیرنده الکترون برای میکروارگانیسم‌های هوایی است. بنابراین، در شرایط غیر هوایی تجزیه میکروبی آفت‌کش‌ها ممکن است مکانیسم‌های متفاوتی را نسبت به شرایط هوایی داشته باشند. برخی آفت‌کش‌ها ممکن است از محل مصرف به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و یا محیط‌های دریایی منتقل شوند

که در آن ممکن است ترکیبات در شرایط غیر هوازی قرار گیرند بخصوص اگر این ترکیبات پس از ورود به منابع آبی جذب رسوبات شوند. آفت‌کش‌ها ممکن است همچنین در محل مصرف دچار شرایط کمبود اکسیژن (مانند سیلاب‌های فصلی در مناطق تولید محصولات کشاورزی) به صورت گذرا شوند. از آنجا که در این شرایط میکروارگانیسم‌هایی بسیار متفاوت با نوع فعالیت بسیار متفاوت غالب هستند، پیش بینی اثرات کمبود اکسیژن در شرایط موقت روی آفت‌کش‌ها مشکل خواهد بود. تولید برنج در شرایط غرقابی وضعیتی را ایجاد می‌کند که در آن شرایط کاملی از اکسایش-کاهش در لایه ۳۰ سانتی متری سطح بالایی خاک در یک فصل رشد وجود دارد. در بخش بعدی برای درک بهتر سرنوشت آفت‌کش‌ها در خاک مهمترین عواملی که در تجزیه و جذب آفت‌کش‌ها تاثیر دارند مورد بحث قرار می‌گیرد (سیمس و کاناسوری، ۲۰۱۹).

۱۱- ارزیابی ریسک و انتقال آفت‌کش‌های ثبت شده برنج در شالیزارها: علاوه بر جذب و تجزیه آفت‌کش‌ها، آبشویی آفت‌کش‌ها دو فرایند دیگر است که انتقال آن‌ها را به منابع آبی تحت تاثیر قرار می‌دهد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آفت‌کش، اولین زمان بارندگی پس از مصرف آفت‌کش، مدت و شدت آن، میزان و نحوه مصرف، فرمولاسیون آفت‌کش، و خصوصیات خاک (توپوگرافی، نفوذ پذیری و پوشش سطحی) و شرایط محیطی فاکتورهایی هستند که بر آبشویی آفت‌کش‌ها تاثیر دارند. ارزیابی پتانسیل آلودگی منابع آبی با محاسبه شاخص پتانسیل انتقال آفت‌کش به منابع آبی قابل محاسبه است (جدول ۳). شاخص آبشویی به پیش بینی پتانسیل انتقال آفت‌کش‌ها در آلوده کردن آب‌ها کمک زیادی می‌کند. برای محاسبه آبشویی، نیمه عمر و ضریب جذب آفت‌کش‌های ۵۱ آفت‌کش ثبت شده در برنج مورد استفاده قرار گرفت و بر اساس محاسبه آفت‌کش‌های با ریسک بالا شناسایی که در جدول ۴ آورده شده است. آفت‌کش‌هایی که شاخص آبشویی آن‌ها بیش از ۲/۸ باشد پتانسیل انتقال به منابع آب زیر زمینی را خواهند داشت. در صورتیکه آفت‌کش‌هایی که شاخص فوق برای آنها کمتر از ۱/۸ باشد، معمولاً در آب‌های زیر زمینی یافت نمی‌شوند. بر اساس پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه آبشویی آفت‌کش‌های مورد استفاده در برنج که در کشور ثبت شده اند، پتانسیل آبشویی بر اساس نتایج به دست آمده به ترتیب فلوستو سولفورون < پروپانیل < پینوکسولام < بتنازون < تری کلوفن خواهد بود. این مساله نشان می‌دهد که ریسک آبشویی علف‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها در مزارع برنج و خطرات آن برای آلودگی منابع آبی در شالیزارها بیشتر از حشره‌کش‌ها می‌باشد (جداول ۳ و ۴).

جدول ۳- شاخص تعیین آبشویی آفت‌کش‌ها

مقادیر شاخص آبشویی*۴	توصیف شاخص
< ۰	خیلی کم
۰ - ۱/۸	کم
۱/۲ - ۸/۸	متوسط
> ۲/۸	زیاد

$$*GUS = \log(DT_{50}) \times (4 - \log(K_{oc}))$$



جدول ۴- آفت‌کش‌ها، نوع مصرف و شاخص آبتشویی برخی آفت‌کش‌های ثبت شده در برنج (پتانسیل بالای آبتشویی)

نام عمومی	نوع	مقادیر GUS®
تری سیکلازول	قارچکش	۳/۸۹
پیرازو سولفورون - اتیل	علفکش	۲/۳۲
کاربندازیم	قارچکش	۲/۴۲
مولینت	علفکش	۲/۶۱
تری کلورفن	حشره کش	۲/۸۵
بتنازون	علفکش	۳/۲۳
پنوکسولام	علفکش	۳/۲۴
پروپانیل	علفکش	۴/۱۲
تو. فور-دی	علفکش	۳/۸۲
فلوستوسولفورون	علفکش	۴/۵
ایپرودیون	قارچکش	۴/۷

خطر آفت‌کش‌های جدول ۴ برای منابع آب زیر زمینی زیاد و بنابراین باید با راه‌کارهایی که در قسمت ترویجی بیان شده است در مناطقی حساس از انتقال آنها جلوگیری نمود. در حالیکه آفت‌کش‌هایی که در جدول ۵ آورده شده است امکان انتقال آنها بسیار کم و این آفت‌کش‌ها ممکن است در شالیزارها باقی بمانند و حتی در برخی مناطق در نتیجه مصرف مداوم تجمع یافته و نه تنها کیفیت خاک را تحت تاثیر قرار دهند بلکه به دلیل تجزیه ناقص به ترکیبات سمی تر از آفت‌کش برای کشاورزان و شالیکاران ریسک بالایی را داشته باشند. برای مثال سمیت فیپرونیل برای آبزیان و زنبور عسل بالا و در شرایط غرقاب می‌تواند به متابولیت فیپرونیل سولفون تبدیل شود که سمیت آن افزایش می‌یابد.

#### توصیه ترویجی

شناخت عوامل و انتقال یا عدم انتقال آفت‌کش‌ها به محیط‌های خارج از محل مصرف بویژه در اکوسیستم‌های شمال کشور و شالیزارها که شرایطی متفاوت دارند برای کارشناسان حوزه‌های کشاورزی، محیط زیست و سلامت غذا اهمیت بسیار زیادی دارد. این شناخت می‌تواند به کاهش مخاطرات در محیط زیست و زنجیره غذایی کمک زیادی نماید. تعیین آفت‌کش‌های با پتانسیل بالای آبتشویی و آفت‌کش‌هایی که امکان انتقال آنها از محل مصرف کم است (جدول ۴ و ۵) و ممکن است در شالیزارها تجمع یابند به کارشناسان حوزه‌های کشاورزی، محیط زیست و سلامت غذا که وظیفه کنترل و پایش آفت‌کش‌ها را بر عهده دارند می‌تواند علاوه بر شناسایی ترکیبات با ریسک بالا برنامه‌های پایش را هدفمند نماید. آگاهی از تجمع آفت‌کش‌هایی که قابلیت انتقال کم دارند (جدول ۵) در شالیزارها به دلیل مصرف مداوم می‌تواند آسیب‌های احتمالی آنها را به شالی‌کاران کاهش دهد. همچنین اطلاعات این مقاله در تجدید نظر و یا تعیین استانداردها و حد مجاز آفت‌کش‌های دارای پتانسیل انتقال به منابع آبی و زنجیره غذایی، ایجاد و توسعه مناطق ممنوعه مصرف آفت‌کش‌ها در مجاورت منابع تامین کننده آب برای آفت‌کش‌های با پتانسیل آبتشویی زیاد، پایش میزان مصرف سالانه آفت‌کش‌ها در مجاورت منابع آبی، تعیین اثرات و ریسک آنها بر کیفیت منابع تامین کننده آب، شناسایی مناطق با ریسک بالا با پایش‌های منظم باقیمانده آفت‌کش‌ها، اجرای طرح‌های اجرایی در کاهش انتقال



آفت‌کش‌ها به منابع تامین کننده آب و زنجیره غذایی کمک نماید. به علاوه، تعیین آفت‌کش‌های با ریسک بالا در شالیزارها می‌تواند به مدیریت مصرف آفت‌کش‌ها برای کارشناسان در حوزه‌های مختلف کمک زیادی نماید.

جدول ۵- آفت‌کش، نوع و شاخص آیشویی برخی آفت‌کش‌های ثبت شده در برنج (فاقد پتانسیل آیشویی)

نام عمومی	نوع	شاخص آیشویی
پیری بنزوکسیم	علف‌کش	-۱/۴۶
بیس پیریباک سدیم	علف‌کش	۱/۲۱
مالاتیون	حشره‌کش	۰/۱
فیپرونیل	حشره‌کش	۰/۴۵
تیوبنکارب	علف‌کش	۰/۵۶
آنیلیفوس	علف‌کش	۱/۵۹
تری فلوکسی استروبین	قارچ‌کش	۰/۶۳
پندی متالین	علف‌کش	-۰/۲۸
تیوفانات-متیل	قارچ‌کش	۰/۶
تبونوزاید	علف‌کش	۰/۷
اکسادیارژیل	علف‌کش	۱
کاربوکسین	قارچ‌کش	۲/۰۱
اکسادیازون	علف‌کش	۱/۹۷
فلودبوکسینیل	قارچ‌کش	-۱/۳۵
تبوکونازول	قارچ‌کش	۱/۸۶
پروپیکونازول	قارچ‌کش	۱/۵۸
تیرام	قارچ‌کش	۰/۰۲
بن سولفورون-متیل	علف‌کش	۱/۲۷

## فهرست منابع

- رمضانی، م.ک. ۱۳۸۸، پایداری علف‌کش‌ها در خاک و پیامدهای آن بر گیاهان زراعی در تناوب‌های زراعی، همایش علوم علف‌های هرز ایران، (مقاله کلیدی)، اهواز، ایران.
- Adhya, T. K. .2015. Degradation of chlorpyrifos in tropical rice soils. *Journal of Environmental Management*, 152, 36–42.
- Arias-Estévez, M., Lo´pez-Periago, E., Mart´inez-Carballo, E., Simal-G´andara, J., Mejuto, J.C., Garc´ıa-R´ıo, L., 2008. The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agric. Ecosyst. Environ.* 123 (4), 247- 260.
- Bose, S., Kumar, N. 2021. Microbial degradation of recalcitrant pesticides: a review. *Environ Chem Lett* (2021). <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01236-5>
- Kah M., Brown C.D. (2006) Adsorption of Ionisable Pesticides in Soils. In: Ware G.W. et al. (eds) *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol 188. Springer, New York, NY.
- Ramezani, M. K., Danielle P. Oliver ; Rai S. Kookana ; Gurjeet Gill ; Christopher Preston .2008. Abiotic degradation (photodegradation and hydrolysis) of imidazolinone herbicides. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*: 43, 2, 105-112.
- Parker, K. M., Barragán Borrero, V., van Leeuwen, D. M., Lever, M. A., Mateescu, B., & Sander, M. (2019). Environmental fate of RNA interference pesticides: Adsorption and degradation of double-stranded RNA molecules in agricultural soils. *Environmental Science & Technology*, 53(6), 3027–3036.
- Pimentel, D. and H. Lehman (eds.). 1997. *The Pesticide Question: Environment, Economics, and Ethics* (Chapman & Hall, New York).
- Samiullah, Y. (1990). *Prediction of the Environmental Fate of Chemicals*. Elsevier Science Publishers Ltd., pp. 110-112, ISBN 1-85166-450-5, Barking, UK
- Sims G.K., Kanissery R.G. (2019) Anaerobic Biodegradation of Pesticides. In: Arora P. (eds) *Microbial Metabolism of Xenobiotic Compounds. Microorganisms for Sustainability*, vol 10. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-7462-3\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-13-7462-3_2)
- Wang, R., Yuan, Y., Yen, H., Grieneisen, M., Arnold, J., Wang, D and Zhang, M. (2019). A review of pesticide fate and transport simulation at watershed level using SWAT: Current status and research concerns. *Science of the Total Environment*, 669, 512–526