Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

Determination of residues concentration and ecotoxicology of organophosphorus pesticides in soil and water of paddy fields of Rudbar County in Guilan province

Behrooz Azh Baragoori[1], Hasan Karimzadegan[*2], Mohsen Mohammadi Galangash[3], Fatemeh Shariati Feizabadi[4], Leila Ooshaksaraei[5]

1. Ph.D. Student in Environmental Pollution, Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. E-mail: behroz_azh@yahoo.com
2. Corresponding Author, Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. E-mail: drkarimzadegan@gmail.com
3. Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Sowmeh-Sara, Iran. E-mail: m_mohammadi2g@guilan.ac.ir
4. Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. E-mail: shariati@liau.ac.ir
5. Dept. of Environmental Sciences and Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. E-mail: l.ooshaksaraie@liau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 06.24.2022
Revised: 08.26.2022
Accepted: 09.01.2022

Keywords:
Ecotoxicology,
Organophosphate,
Paddy field,
Pesticide,
Pollution

ABSTRACT

Background and Objectives: Since water and soil are important components of the ecosystem and their quality reduction affects the environment and agriculture, it is necessary to determine the effects of pesticides on soil and water resources and determine their residual concentration levels in the land. Agriculture, especially paddy fields, should be controlled and managed. Therefore, the purpose of this study is to determine and evaluate the level of residual concentrations of organophosphate pesticides in soil and water samples of Rudbar County and to investigate their ecotoxicological status.

Materials and Methods: In this study, the multiplicity of 12 stations was determined using a systematic random method in the paddy lands of Rudbar County. In total, 24 samples including 12 water samples and 12 soil samples were collected. Water sampling was performed in 1-liter dark-colored bottles and soil sampling was performed from the surface layer according to the standard method. All samples were transferred to a laboratory in using, dry ice. Organophosphate pesticides were measured using the EPA 8041b standard method. All analyzes were performed by gas chromatography with the mass detector in Aria Shimi Sharif Company. To study the ecotoxicological status of pesticides, two databases named National Pesticide Information Center and Pesticide Properties Database were used. The two databases are affiliated with Oregon State University, the US Environmental Protection Agency, and the University of Hertfordshire. Statistical analysis of the data included analysis of variance using one-way ANOVA test, comparison of means using Duncan's test, correlation using Pearson's method, and analysis of principal components using the covariance method.

Results: Based on the results, 11 organophosphate pesticides were identified in water and soil samples of Rudbar paddy fields. Ethion in soil and Diazinon in the water had the highest residual concentrations. Sheikh

Ali Tues 1 and 2 and Mirzagolband 1 stations with the values of 4.55, 3.99 and 3.49 ug/kg had the highest amount of Ethion toxin residues in the soil. In addition, Sheikh Ali Tues 2, Mirzagolband 1, and Halimeh-Jan stations with 3.96, 1.71, and 1.68 ug/L, respectively, had the highest amount of Diazinon pesticide in water samples. The results showed that the downstream lands in the area of Imamzadeh-Hashem compared to the upstream lands in Rudbar city have a higher concentration and load of pollution. The mean concentration remaining in soil samples (0.987 ug/kg) was higher than in water samples (0.304 ug/L). Based on the results of pesticides Diazinon, Methyl Parathion, Azinphos Methyl, Malathion, and Ethion in the studied stations showed a significant difference. A comparison of the mean residual concentrations of pesticides with their physicochemical and ecotoxicological properties showed that in terms of potential risk and toxicity for aquatic organisms, the concentrations of Beta Mevinephos, Malathion, and Azinphos Methyl pesticides were 0.043, 0.573, and 0.272 ug/kg, respectively, and very high, which put these pesticides in a situation of high and toxic danger to aquatic organisms in the region.

Conclusion: Exessive use of pesticides on agricultural land has caused environmental problems. As a result, monitoring and evaluation of pesticide residues in paddy fields are very important because contaminated effluents are discharged directly from rice fields into rivers. Due to the high levels of residual concentrations of some organophosphate pesticides in the region, it is necessary to hold training courses on farmers' familiarity with the dangers of pesticides to prevent, control, and reduce pollution under the supervision of experts. Also, to fight non-chemically against pests, it is suggested to use the Trichogramma bee in the form of Trichocart to fight the rice stem-eating worm, colored traps, and attractants in paddy fields.

Cite this article: Azh Baragoori, Behrooz, Karimzadegan, Hasan, Mohammadi Galangash, Mohsen, Shariati Feizabadi, Fatemeh, Ooshaksaraei, Leila. 2022. Determination of residues concentration and ecotoxicology of organophosphorus pesticides in soil and water of paddy fields of Rudbar County in Guilan province. *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (2), 47-68.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2022.20358.3568
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹٤

تعیین غلظت باقی‌مانده و بوم سم‌شناسی سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در آب و خاک شالیزارهای شهرستان رودبار استان گیلان

بهروز آژ براگوری[۱]، حسن کریم‌زادگان*[۲]، محسن محمدی گلنگش[۳]، فاطمه شریعتی فیض‌آبادی[٤]، لیلا اوشک سرایی[٥]

۱. دانشجوی دکتری آلودگی محیط زیست، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران. رایانامه: behroz_azh@yahoo.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران. رایانامه: drkarimzadegan@gmail.com

۳. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران. رایانامه: m_mohammadi2g@guilan.ac.ir

٤. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران. رایانامه: shariati@liau.ac.ir

٥. گروه علوم و مهندسی محیط زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران. رایانامه: l.ooshaksaraie@liau.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۱/۰٤/۰۳
تاریخ ویرایش: ۰۱/۰٦/۰٤
تاریخ پذیرش: ۰۱/۰٦/۱۰

واژه‌های کلیدی:
آفت‌کش،
آلودگی،
ارگانوفسفره،
بوم سم‌شناسی،
شالیزار

چکیده

سابقه و هدف: آب‌وخاک از اجزای مهم اکوسیستم بوده و کاهش کیفیت آن‌ها موجب تأثیر بر محیط‌زیست و کشاورزی می‌شود، بنابراین ضروری است تا اثرات آفت‌کش‌ها بر منابع آب‌وخاک مشخص شده و با تعیین سطوح غلظت باقی‌مانده آن‌ها در اراضی کشاورزی به‌ویژه شالیزارها در جهت کنترل و مدیریت آن‌ها اقدام شود. ازاین‌رو، هدف از این مطالعه تعیین و ارزیابی سطح غلظت باقی‌مانده آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک اراضی شهرستان رودبار و بررسی وضعیت اکوتوکسیکولوژی آن‌ها است.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، تعداد ۱۲ ایستگاه با استفاده از روش سیستماتیک تصادفی در اراضی شالیزاری شهرستان رودبار تعیین شد. در مجموع، ۲٤ نمونه شامل ۱۲ نمونه آب و ۱۲ نمونه خاک برداشت گردید. نمونه‌برداری از آب در بطری‌های ۱ لیتری تیره‌رنگ و نمونه‌برداری خاک از لایه سطحی مطابق با روش استاندارد انجام گرفت. تمامی نمونه‌ها درون یخدان حاوی یخ خشک به آزمایشگاه منتقل شدند. اندازه‌گیری سموم آفت‌کش ارگانوفسفره با استفاده از روش استاندارد EPA 8041b صورت گرفت. تمامی آنالیزها توسط دستگاه گازکروماتوگرافی با آشکارساز جرمی در شرکت آریا شیمی شریف انجام شد. به‌منظور بررسی وضعیت اکوتوکسیکولوژی آفت‌کش‌ها از دو پایگاه داده به نام‌های مرکز ملی اطلاعات آفت‌کش‌ها و پایگاه داده ویژگی‌های آفت‌کش‌ها استفاده شد. این دو پایگاه اطلاعاتی وابسته به دانشگاه ایالتی اورگان، آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا و دانشگاه هرتفوردشایر می‌باشند. تحلیل آماری

داده‌ها شامل تجزیه واریانس با استفاده از آزمون آنووای یکطرفه، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن، همبستگی به روش پیرسون و آنالیز مؤلفه‌های اصلی به روش کوواریانس انجام شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، در نمونه‌های آب و خاک اراضی شالیزاری رودبار تعداد ۱۱ آفت‌کش ارگانوفسفره شناسایی گردید. اتیون (نام تجاری ستیون) در خاک و دیازینون (نام تجاری بازودین) در آب دارای بیش‌ترین مقدار غلظت باقی‌مانده بودند. ایستگاه‌های شیخعلی طوسه۱و۲ و میرزاگلبند۱ با مقدار ٤/٠٥، ۳/۹۹ و ۳/٤۹ میکروگرم بر کیلوگرم بیش‌ترین مقدار بقایای سم اتیون در خاک را داشتند. هم‌چنین، ایستگاه‌های شیخعلی طوسه۲، میرزاگلبند۱ و حلیمه‌جان به ترتیب با ۳/۹٦، ۱/۷۱ و ۱/٦۸ میکروگرم بر لیتر دارای بیش‌ترین مقدار آفت‌کش دیازینون در نمونه‌های آب بودند. نتایج نشان داد که اراضی پایین‌دست در محدوده امامزاده هاشم در مقایسه با اراضی بالادست در محدوده شهر رودبار دارای غلظت باقی‌مانده و بار آلودگی بیش‌تری هستند. میانگین غلظت باقی‌مانده در نمونه‌های خاک (۰/۹۸۷ میکروگرم بر کیلوگرم) بیش‌تر از نمونه‌های آب (۰/۳۰٤ میکروگرم بر لیتر) به‌دست آمد. بر اساس نتایج آفت‌کش‌های دیازینون، متیل پاراتیون، آزینفوس متیل، مالاتیون و اتیون در ایستگاه‌های موردمطالعه اختلاف معنی‌داری را نشان دادند. مقایسه میانگین غلظت باقی‌مانده آفت‌کش‌ها با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و اکوتوکسیکولوژی آن‌ها نشان داد که از نظر پتانسیل خطر و سمیت برای آبزیان، غلظت آفت‌کش‌های بتامونیفوس، مالاتیون (مالتوس) و آزینفوس متیل (گوزاتیون ام) به ترتیب با ۰/۰٤۳، ۰/۵۷۳ و ۰/۲۷۲ میکروگرم بر لیتر بسیار بالا بوده که این آفت‌کش‌ها را در وضعیت خطر بالا و سمی برای آبزیان منطقه قرار داده است.

نتیجه‌گیری: استفاده بیش از اندازه از سموم در اراضی کشاورزی باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی شده است. درنتیجه، پایش و ارزیابی بقایای آفت‌کش‌ها در اراضی شالیزاری بسیار مهم بوده زیرا پساب‌های آلوده از مزارع برنج به‌طور مستقیم به رودخانه‌ها تخلیه می‌شوند. با توجه به سطوح بالای غلظت باقی‌مانده برخی از آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در منطقه ضروری است تا به‌منظور پیشگیری، کنترل و کاهش آلودگی ضمن نظارت کارشناسان، دوره‌های آموزشی در مورد آشنایی کشاورزان با خطرات آفت‌کش‌ها برگزار گردد. همچنین به‌منظور مبارزه غیرشیمیایی با آفات، پیشنهاد می‌شود که از زنبور تریکوگراما به‌صورت تریکوکارت جهت مبارزه با کرم ساقه خوار برنج، تله‌های رنگی و مواد جلب‌کننده در شالیزارها استفاده گردد.

استناد: آژ براگوری، بهروز، کریم‌زادگان، حسن، محمدی گلنگش، محسن، شریعتی فیض‌آبادی، فاطمه، اوشک سرایی، لیلا (۱۴۰۱). تعیین غلظت باقی‌مانده و بوم سم‌شناسی سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در آب و خاک شالیزارهای شهرستان رودبار استان گیلان. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۹ (۲)، ۶۸-۴۷.

DOI: 10.22069/jwsc.2022.20358.3568

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

استفاده از آفت‌کش‌ها به‌طور گسترده برای حفاظت و کاهش تلفات محصول و برآوردن نیازهای غذایی روبه رشد جهان از دهه ۱۹٤۰ در کشاورزی به‌طور پیوسته افزایش یافته است (۱). طبق گزارش فائو در سال ۲۰۱۲، به‌طور متوسط حدود ۳/۸ میلیون تن سموم شیمیایی در زمین‌های کشاورزی استفاده شده که این مقدار بالغ بر ٤۰ میلیارد دلار آمریکا می‌باشد (۲). از طرفی، میانگین مقدار استفاده از آفت‌کش‌ها در آسیا بالاترین رقم را دارد جایی که ٦/٥ تا ٦۰ کیلوگرم در هکتار حشره‌کش استفاده می‌شود (۳). آفت‌کش‌ها در واقع مطلوب هستند اما تعادل اکولوژیکی را برهم می‌زنند، به‌طوری‌که پس از ورود به محیط‌زیست تحت‌تأثیر فرآیندهای زیادی قرار می‌گیرند (٤).

طبق مطالعات، ارگانوفسفره‌ها به دلیل کارایی بالا در کنترل آفات و هزینه کم، متداول‌ترین آفت‌کش‌ها در اراضی کشاورزی بوده به‌طوری که حدود ٤۰ درصد از کل آفت‌کش‌هایی که به‌صورت تجاری تولید و استفاده می‌شوند متعلق به این دسته هستند (٥). بااین‌حال، اگرچه ارگانوفسفره‌ها از نظر شیمیایی در طبیعت ماندگاری متوسطی دارند اما به دلیل کاربرد مکرر آن‌ها در مناطق تحت کشت می‌توانند برای مدت طولانی در محیط انباشته‌شده و استفاده مداوم و بیش از اندازه از آن‌ها منجر به آلودگی آب و خاک در مناطق مختلف جهان شده است (٦). از طرفی، قرار گرفتن انسان در معرض حتی سطوح پایین این آفت‌کش‌ها برای دوره‌های زمانی طولانی می‌تواند به تجمع آن‌ها در بدن و ایجاد بیماری منجر شود (۷). اثر سمی اصلی آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در مواجهه با موجودات زنده شامل مهار غیرقابل جبران آنزیم استیل کولین استراز[1] است که در انتقال عصبی سیگنال‌ها نقش دارد و از این رو مهار آن باعث اختلال در دستگاه تنفس و انتقال عصبی عضلانی می‌شود (۸).

از رایج‌ترین مطالعات زیست‌محیطی در سال‌های اخیر، بررسی بقایای آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در محیط‌های مختلف ازجمله آب و خاک و بررسی اثر بوم سم‌شناسی یا اکوتوکسیکولوژی[2] این ترکیبات می‌باشد زیرا اثرات نامطلوب آفت‌کش‌ها در محیط‌زیست باعث نگرانی‌هایی در مقیاس محلی، منطقه‌ای، ملی و جهانی شده است. در همین راستا، عبدالله و همکاران (۲۰۱۷) با ارزیابی بقایای آفت‌کش‌ها در نمونه‌های آب و خاک شالیزارهای مالزی گزارش دادند که استفاده گسترده و درازمدت از آفت‌کش‌ها توسط کشاورزان طی چند دهه گذشته باعث شده تا غلظت این آفت‌کش‌ها در اراضی شالیزاری که حتی به‌صورت ارگانیک کشت شده‌اند دارای مقادیر بالا باشد به‌طوری‌که از سال ۲۰۱٤ تا ۲۰۱۷ هیچ‌گونه آفت‌کشی در این اراضی استفاده نشده بود. آن‌ها نتیجه گرفتند که بقایای آفت‌کش‌های موجود در خاک به دلیل استفاده مکرر از آن‌ها در اراضی شالیزاری بوده که می‌تواند باعث آلودگی محیط‌زیست و به خطر انداختن سلامتی انسان‌ها شود (۱). چادهوری و همکاران (۲۰۱۲) با مطالعه بقایای آفت‌کش‌های ارگانوفسفره (کلروپریفوس، مالاتیون و دیازینون) در نمونه‌های آب اراضی شالیزاری بنگلادش گزارش کردند بقایای آفت‌کش‌های مورد مطالعه به دلیل استفاده بیش از اندازه توسط کشاورزان بالاتر از حداکثر سطح قابل‌قبول آلودگی بوده به‌طوری‌که ۲۲ درصد از نمونه‌ها به شدت آلوده به آفت‌کش‌های ارگانوفسفره هستند (٤). بر پایه پژوهش‌های خبازی و همکاران (۲۰۱٤) بر روی ۹

1- Acetylcholinesterase (AchE)
2- Ecotoxicology

آفت‌کش ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک زمین‌های کشاورزی اصفهان مشخص شد که استفاده بیش از مقدار نیاز سموم ارگانوفسفره سبب شده تا بقایای این سموم در خاک چند ماه پس از مصرف نیز هم‌چنان بالاتر از حد مجاز باشد و اثرات نامطلوب خود را بر روی موجودات زنده بروز دهد (۹).

فوسو و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی غلظت باقی‌مانده چهار آفت‌کش کلروپیریفوس، پروفنوفوس، پیریمیفوس متیل و دیازینون در خاک و آب اراضی کاکائو در غنا بیان کردند که اگرچه غلظت کلروپیریفوس، پیریمیفوس متیل و دیازینون در دو ایستگاه بالاتر از حداکثر سطح باقی‌مانده[1] ایالات‌متحده بود، بااین‌حال بقایای آفت‌کش‌ها در خاک علاوه بر ایجاد خطر برای موجودات، آب‌های اطراف را از طریق رواناب و آبشویی آلوده می‌کند (۱۰). در پژوهشی دیگر، ارجمندی و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی بقایای حشره‌کش‌های ارگانوفسفره در اراضی شالیزاری استان مازندران بیان کردند که استفاده مکرر از دیازینون در شالیزارهای برنج جهت کنترل کرم ساقه‌خوار سبب ماندگاری این حشره‌کش در خاک این اراضی شده است. این مطالعه نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی دیازینون در کنار شرایط اکولوژیکی و نوع خاک بر کاهش یا افزایش و هم‌چنین حذف آفت‌کش‌ها در طول دوره‌های کاشت و برداشت، تأثیر دارد (۱۱). در مطالعه‌ای دیگر، آناسکو و همکاران (۲۰۱۰) با ارزیابی بقایای آفت‌کش‌ها در مناطق آب‌شیرین تحت‌تأثیر پساب‌های شالیزاری در جنوب ژاپن گزارش کردند که علف‌کش‌ها در مراحل اولیه فصل کاشت برنج غلظت نسبتاً بالاتری داشته و حشره‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها در مراحل بعدی، غلظت نسبتاً بالاتری دارند. آن‌ها نتیجه گرفتند که نظارت و ارزیابی مداوم باقی‌مانده آفت‌کش‌ها در اراضی شالیزاری و پساب‌های مزارع به‌ویژه در کشورهای آسیایی در حال توسعه که مقررات زیست‌محیطی به‌دقت رعایت و اجرا نمی‌شوند، ضروری است (۱۲). پان و همکاران (۲۰۱۸) با بررسی آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در خاک‌های کشاورزی دلتای رودخانه یانگ‌تسه چین گزارش دادند که بیش‌ترین غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره شامل پاراتیون و متیل پاراتیون در جیانگ سو به دلیل فعالیت‌های کشاورزی و استفاده بی‌رویه از آن‌ها بوده و آلودگی آن‌ها به‌شدت با انواع کاربری زمین مرتبط است (۱۳). در مطالعه‌ای دیگر، باندری و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی غلظت و توزیع بقایای آفت‌کش‌ها در خاک اراضی کشاورزی در نپال گزارش کردند حدود ۶۰ درصد از نمونه‌های خاک دارای بقایای ۳۹ ترکیب آفت‌کش بودند که بیش‌ترین مقدار در خاک سطحی یافت شد. نتایج نشان داد کلروپیریفوس در میان آفت‌کش‌های مورد مطالعه دارای بیش‌ترین غلظت بود. آن‌ها بیان کردند اتخاذ رویکرد مدیریت یکپارچه آفات در نظام کشاورزی می‌تواند به کاهش غلظت باقی‌مانده آفت‌کش‌ها در خاک اراضی کشاورزی منجر شود (۲).

ازآن‌جایی‌که ویژگی‌های خاک نقش مهمی در سرنوشت، رفتار و پراکندگی آفت‌کش‌های شیمیایی دارد (۱۴). بنابراین خاک یک مخزن اصلی و منبع انتشار ثانویه آلاینده‌های آلی ازجمله ارگانوفسفره‌ها می‌باشد (۱۵). از طرفی، مصرف سموم آفت‌کش امکان راه‌یابی باقی‌مانده سموم از طریق زهکشی، بارندگی و نشت از کف زمین‌های کشاورزی به منابع آب را به‌شدت افزایش می‌دهد به‌طوری که رواناب به‌عنوان مسیر اصلی حرکت آفت‌کش‌ها ممکن است منجر به انتشار ناخواسته و آلودگی غیرهدف شوند (۱۶)، زیرا تنها ۰/۱ درصد از آفت‌کش‌های به‌کار رفته به آفات هدف می‌رسند و بقیه آن وارد محیط‌زیست

1- Maximum Residue Limit (MRL)

شده و بر روی اکولوژی منطقه تأثیر گذاشته و به خاک، آب و اتمسفر ورود می‌کند و در نهایت آلودگی را به بدن انسان انتقال می‌دهد (۱۷). استان گیلان با برخورداری از میزان بارندگی و شرایط محیطی مناسب، یکی از قطب‌های کشاورزی ایران محسوب می‌شود به‌طوری‌که سطح زیرکشت محصولات کشاورزی این استان حدود ٤۰۰ هزار هکتار می‌باشد که ۵۵ درصد معادل ۲۲۰ هزار هکتار آن اختصاص به کشت برنج دارد که از این نظر، رتبه نخست سطح زیرکشت و رتبه دوم تولید برنج را در اختیار دارد شهرستان رودبار که در زمره تولید محصولات کشاورزی از سهم قابل‌توجهی در استان گیلان برخوردار است دارای ۳۳۰۰ هکتار اراضی شالیزاری می‌باشد که تحت پوشش شبکه آبیاری و زهکشی رودخانه سفیدرود قرار دارد (۱۸). استفاده وسیع و بی‌رویه آفت‌کش‌ها و عدم توجه به مسائل زیست‌محیطی علاوه بر آلودگی، سبب ورود آن‌ها از راه‌های مختلف به آب و خاک اراضی شالیزاری شهرستان رودبار شده است. با توجه به کشاورزی در اراضی حاشیه رودخانه سفیدرود و وجود مزارع پرورش ماهی‌های گرم و سردآبی متعدد در حاشیه این اراضی که آب آن‌ها تحت‌تأثیر پساب‌های کشاورزی قرار دارند، بنابراین با در نظر داشتن اهداف کشاورزی پایدار باید تأثیر مواد شیمیایی کشاورزی بر کیفیت خاک و منابع آب مشخص گردد. در نتیجه، اولین قدم در کنترل و مدیریت باقی‌مانده سموم موجود در منابع آب و خاک، تعیین غلظت آن‌ها می‌باشد.

بنابراین، پژوهش حاضر با هدف تعیین غلظت باقی‌مانده سموم‌آفت‌کش ارگانوفسفره در آب و خاک، بررسی وضعیت اکوتوکسیکولوژی و تعیین جایگاه کیفی آن‌ها در نمونه‌های آب جهت استفاده در آبزی‌پروری در شالیزارهای شهرستان رودبار انجام شده است زیرا اولاً، اطلاع دقیقی در خصوص میزان تجزیه این سموم در آب و خاک اراضی شالیزاری شهرستان رودبار (به دلیل عدم وجود الگوی مصرف یکسان توسط کشاورزان) وجود ندارد و ثانیاً، بخش قابل‌توجهی از پساب کشاورزی به مزارع پرورش ماهی حاشیه شالیزارها راه می‌یابند که از این نظر، تجمع بقایای سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در آب، خاک و محصولات به‌دلیل تأثیر قابل‌توجه بر اکوسیستم کشاورزی بسیار دارای اهمیت می‌باشد. از این‌رو، پژوهش حاضر درصدد یافتن پاسخ به سؤالات زیر است؛ ۱- بیش‌ترین غلظت بقایای سموم ارگانوفسفره در آب و خاک مربوط به کدام نوع است؟ ۲- آیا بقایای سموم ارگانوفسفره در نمونه‌های آب تهدیدی برای مزارع آبزی‌پروری منطقه است؟

مواد و روش‌ها

شهرستان رودبار با وسعت ۲۵۷٤ کیلومترمربع در جنوب استان گیلان در عرض جغرافیایی ۳٦ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ٤۹ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی واقع‌شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۰۵۰ متر است (۱۹). اقلیم منطقه مورد مطالعه بر پایه روش طبقه‌بندی دومارتن، نیمه‌خشک است (۲۰). میانگین دمای سالانه ۱٦/۱ درجه سلسیوس، میزان بارش سالانه به‌طور متوسط ۵۳۵ میلی‌متر و جهت وزش باد غالب، شمال‌غربی- جنوب‌شرقی می‌باشد (۲۱).

تعداد ۱۲ ایستگاه با استفاده از روش سیستماتیک تصادفی (انتخاب موقعیت اولین ایستگاه به‌صورت تصادفی و بعد با توجه به وضعیت منطقه انتخاب سایر ایستگاه‌ها) تعیین و موقعیت آن‌ها با استفاده از GPS ثبت گردید (شکل ۱). در مجموع، ۲٤ نمونه شامل ۱۲ نمونه خاک و ۱۲ نمونه آب پس از آخرین مرحله سم‌پاشی (اوایل خرداد ۱٤۰۱) برداشت شد. نمونه‌برداری از خاک بر اساس روش‌های استاندارد از لایه سطحی خاک (عمق ۲۰ سانتی‌متری) با استفاده از

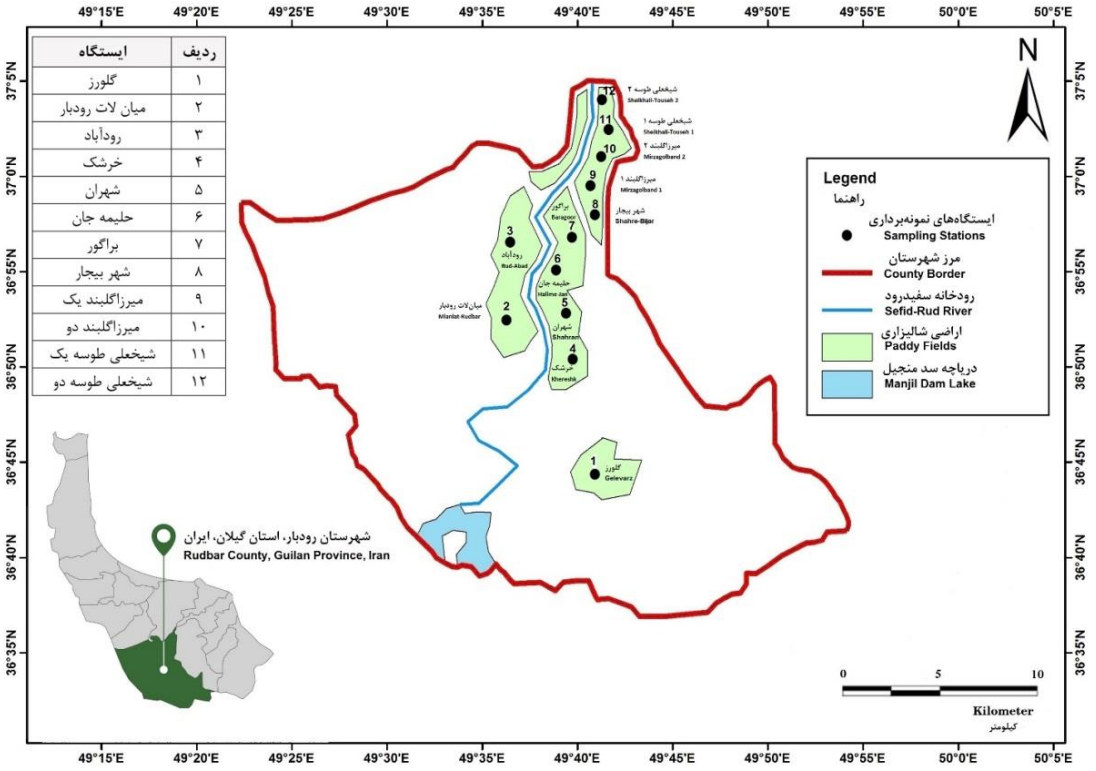
بیلچه پلاستیکی انجام و در کیسه‌های پلی‌اتیلنی ذخیره گردید (۲۲). نمونه‌برداری از آب در بطری‌های ۱ لیتری تیره‌رنگ که درب آن کاملاً با فویل آلومینیومی پوشانده شده بود مطابق روش استاندارد انجام گرفت (۹). تمامی نمونه‌ها پس از جمع‌آوری در یخدان حاوی یخ خشک در دمای ٤- درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها تا انجام آنالیز در یخچال با دمای ۲ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند.

اندازه‌گیری سموم آفت‌کش ارگانوفسفره با استفاده از روش استاندارد EPA 8041b توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی با دتکتور جرمی مدل 7890A ساخت شرکت Agilent کشور آمریکا در شرکت دانش‌بنیان آریا شیمی شریف انجام شد.

اکوتوکسیکولوژی، مطالعه اثرات سمی مواد شیمیایی بر محیط آبی و خشکی است تا اثر فوری یک ماده سمی بر روی موجودات را مطالعه کند. اکوتوکسیکولوژی به اثرات آلاینده‌ها از جمله آفت‌کش‌ها بر افراد، جمعیت‌ها، جوامع طبیعی و زیست‌بوم‌ها می‌پردازد. یک آفت‌کش ممکن است بر چیزی دور از محل مصرف تأثیر بگذارد. برخی از آفت‌کش‌ها برای مدت طولانی در محیط‌زیست باقی می‌مانند و ممکن است سال‌ها پس از آخرین استفاده از آن‌ها خطراتی را برای موجودات زنده ایجاد کنند (۲۳). پنج ویژگی اساسی وجود دارد که وقتی با اطلاعات مربوط به مکان و کاربرد ترکیب می‌شوند، اطلاعات زیادی در مورد پتانسیل یک آفت‌کش به‌عنوان یک آلاینده ارائه می‌دهند. این پنج ویژگی عبارت‌اند از؛ حلالیت در آب، فراریت، تمایل خاک برای جذب آن‌ها، ماندگاری و پتانسیل یونیزاسیون (۲٤). ازاین‌رو، به‌منظور بررسی وضعیت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در ایستگاه‌های مورد مطالعه با ویژگی‌های اکوتوکسیکولوژی آن‌ها از دو پایگاه داده اطلاعاتی به نام‌های مرکز ملی اطلاعات آفت‌کش‌ها[1] و پایگاه داده ویژگی‌های آفت‌کش‌ها[2] استفاده گردید که اولی، اطلاعات عینی و مبتنی بر علم در مورد آفت‌کش‌ها و موضوعات مرتبط با آفت‌کش‌ها را فراهم می‌کند تا مردم را قادر به تصمیم‌گیری آگاهانه کند. این مرکز یک قرارداد همکاری بین دانشگاه ایالتی اورگان و آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات‌متحده است (۲۵). پایگاه داده ویژگی‌های آفت‌کش‌ها، ارائه‌دهنده اطلاعات جامعی از ویژگی‌های شیمیایی آفت‌کش‌ها، تأثیر آفت‌کش‌ها بر سلامت انسان و ویژگی‌های اکوتوکسیکولوژیکی آن‌هاست که توسط واحد تحقیقات کشاورزی و محیط‌زیست[3] در دانشگاه هرتفوردشایر[4] برای پشتیبانی از ارزیابی و مدیریت خطر، توسعه‌یافته است (۲٦).

برای انجام تحلیل آماری از نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۵ استفاده شد. در ابتدا، نرمال بودن داده‌ها در هر ایستگاه با آزمون شاپیرو-ویلک مورد بررسی قرار گرفت. پس از پیروی داده‌ها از توزیع نرمال، برای تعیین اختلاف معنی‌دار بین غلظت آفت‌کش‌ها در ایستگاه‌های مورد مطالعه از آنالیز واریانس یکطرفه و جهت بررسی دقیق‌تر اختلاف آماری از پس‌آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده گردید. به‌منظور مقایسه میانگین غلظت آفت‌کش‌ها در نمونه‌های آب و خاک اراضی شالیزاری از آزمون تی‌مستقل و جهت بررسی همبستگی بین داده‌ها از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۱٦ رسم گردید.

1- National Pesticide Information Center (NPIC)
2- Pesticides Properties Data Base (PPDB)
3- Agriculture and Environment Research Unit (AERU)
4- University of Hertfordshire



شکل ۱- منطقه موردمطالعه و ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

Figure 1. Study area and sampling stations.

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی شامل میانگین و انحراف معیار برای هر کدام از سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در نمونه‌های خاک و آب به تفکیک ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول‌های ۱ و ۲، آمده است. نتایج نشان داد غلظت سموم اتیون و دیازینون در بین آفت‌کش‌های مشاهده شده بیش‌ترین مقدار را به‌ترتیب در نمونه‌های خاک و آب به خود اختصاص داده‌اند که مطابق با پژوهش گلشنی و همکاران (۲۰۲۲) می‌باشد (۲۷). بر این اساس، بیش‌ترین مقدار بقایای سم ارگانوفسفره اتیون در خاک در ایستگاه‌های مورد مطالعه به ترتیب مربوط به شیخعلی طوسه۱، شیخعلی طوسه۲ و میرزاگلبند۱ با مقدار ٤/٠٥، ٣/٩٩ و ٣/٤٩ میکروگرم بر کیلوگرم به‌دست آمد. هم‌چنین در ایستگاه‌های شیخعلی طوسه۲، میرزاگلبند۱ و حلیمه‌جان آفت‌کش دیازینون به ترتیب با ٣/٩٦، ١/٧١ و ١/٦٨ میکروگرم بر لیتر دارای بیش‌ترین مقدار در نمونه‌های آب بود.

جدول ۱- آمار توصیفی (میانگین ± انحراف معیار) غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره (میکروگرم بر کیلوگرم) در نمونه‌های خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 1. Descriptive statistics (mean ± standard deviation) of organophosphorus pesticides concentration (ug/kg) in soil samples of the studied stations.

آزینفوس‌متیل Azinphos Methyl	اتیون Ethion	پاراتیون Parathion	کلروپیریفوس Chlorpyrofos	فنتیون Fenthion	مالاتیون Malathion	فنیتروتیون Fenitrothion	متیل‌پاراتیون Methyl Parathion	دیسولفوتون Disolfoton	دیازینون Diazinon	بتامواینفوس Beta Mevinphos	ایستگاه Station
0.12 ± 0.02	1.73 ± 0.02	0.02 ± 0.01	0.40 ± 0.01	0.76 ± 0.01	0.22 ±0.01	1.18 ± 0.01	1.31 ± 0.01	0.01 ± 0.005	1.29 ± 0.01	0.72 ± 0.01	گلورز Gelevarz
0.15 ± 0.01	1.51 ± 0.02	1.59 ± 0.02	0.21 ± 0.01	0.42 ± 0.01	0.15 ± 0.01	0.02 ± 0.01	1.96 ± 0.01	0.02 ± 0.01	1.14 ± 0.01	0.54 ± 0.005	میانلات‌رودبار Mianlate-Rudbar
0.11 ± 0.01	1.31 ± 0.01	0.04 ± 0.005	0.15 ± 0.01	0.01 ± 0.05	0.15 ± 0.01	0.02 ± 0.01	1.20 ± 0.01	0.03 ± 0.02	1.05 ± 0.02	1.18 ± 0.01	رودآباد Rud-Abad
0.22 ± 0.01	1.59 ± 0.01	0.12 ± 0.01	0.17 ±0.01	0.01 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.02 ± 0.01	2.99 ± 0.01	0.02 ± 0.01	2.89 ± 0.01	0.65 ± 0.01	خرشک Khereshk
0.55 ± 0.16	2.82 ± 0.02	2.19 ± 0.01	0.17 ± 0.005	0.02 ± 0.01	0.42 ± 0.01	1.47 ± 0.01	2.14 ± 0.01	0.01 ± 0.005	2.31 ± 0.01	0.85 ± 0.01	شهران Shahran
0.35 ± 0.02	2.09 ± 0.01	1.82 ± 0.02	0.39 ± 0.02	0.10 ± 0.16	0.22 ± 0.01	0.14 ± 0.01	2.03 ± 0.01	0.15 ±0.01	1.60 ± 0.005	0.81 ± 0.01	حلیمه‌جان Halime-jan
2.25 ± 0.01	2.17 ± 0.01	0.93 ± 0.02	0.65 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.03 ±0.02	2.54 ± 0.01	0.02 ± 0.01	1.95 ± 0.01	0.88 ± 0.005	براگور Baragour
2.43 ± 0.02	1.61 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.22 ± 0.01	0.94 ± 0.01	0.19 ± 0.005	0.03 ± 0.02	1.53 ± 0.01	0.07 ± 0.01	1.52 ± 0.03	0.63 ± 0.02	شهر بیجار Shahre Bijar
2.23 ± 0.02	3.49 ± 0.01	0.52 ± 0.01	0.14 ± 0.02	0.02 ± 0.01	0.47 ± 0.02	1.06 ± 0.02	3.32 ± 0.02	0.03 ± 0.01	2.22 ± 0.02	0.91 ± 0.01	میرزاگلبند۱ Mirzagolband1
2.03 ± 0.02	3.44 ± 0.02	0.19 ± 0.005	0.22 ± 0.02	0.01 ± 0.01	0.35 ± 0.01	1.99 ± 0.02	1.55 ± 0.01	0.01 ± 0.01	5.15 ± 0.05	0.89 ± 0.01	میرزاگلبند۲ Mirzagolband2
2.63 ± 0.02	4.05 ± 0.03	0.31 ± 0.02	0.15 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.32 ± 0.01	0.02 ± 0.01	4.21 ± 0.01	0.03 ± 0.005	1.45 ± 0.01	1.14 ± 0.01	شیخعلی‌طوسه۱ Sheikhali Touse1
0.35 ± 0.01	3.99 ± 0.02	0.89 ± 0.02	0.14 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.35 ± 0.01	0.01 ± 0.01	3.55 ± 0.01	0.06 ± 0.01	2.03 ± 0.01	0.92 ±0.01	شیخعلی‌طوسه۲ Sheikhali Touse2

جدول ۲- آمار توصیفی (میانگین ± انحراف معیار) غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره (میکروگرم بر لیتر) در نمونه‌های آب ایستگاه‌های موردمطالعه.

Table 2. Descriptive statistics (mean ± standard deviation) of organophosphorus pesticides concentration (ug/L) in water samples of the studied stations.

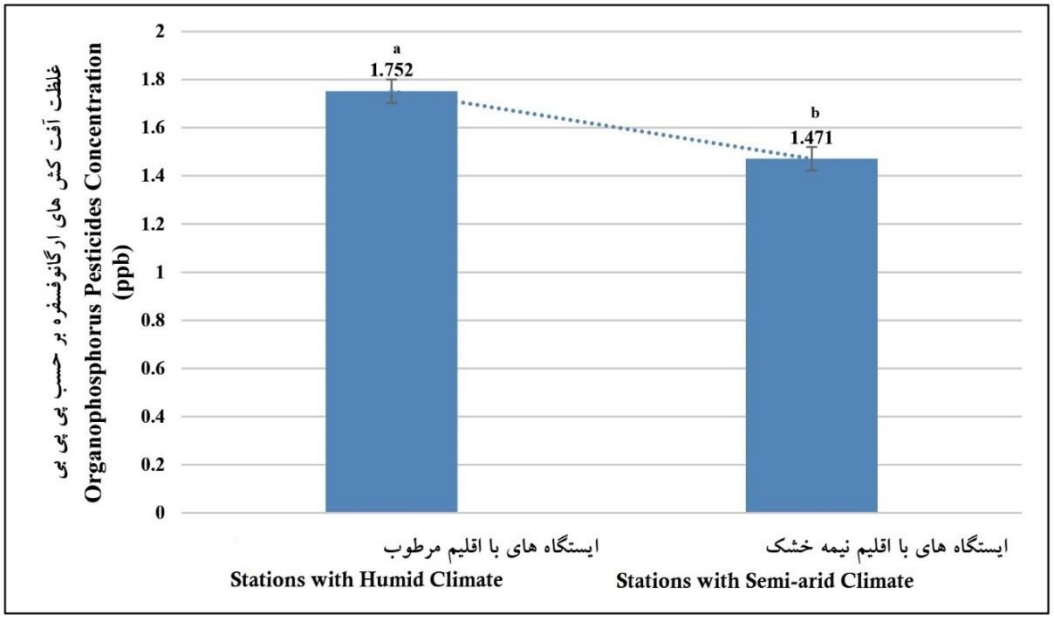
ایستگاه Station	بتامووینفوس Beta Mevinphos	دیازینون Diazinon	دیسولفوتون Disolfoton	متیل‌پاراتیون Methyl Parathion	فنیتروتیون Fenitrothion	مالاتیون Malathion	فنتیون Fenthion	کلروپیریفوس Chlorpyrofos	پاراتیون Parathion	اتیون Ethion	آزینفوس‌متیل Azinphos Methyl
گلورز Gelevarz	0.05 ± 0.005	0.71 ± 0.05	0.01 ±0.005	0.46 ± 0.01	0.07 ±0.005	0.22 ± 0.02	0.08 ± 0.09	0.02 ±0.005	0.01 ±0.005	0.08 ± 0.01	0.07 ± 0.01
میان‌لات‌رودبار Mianlat Rudbar	0.01 ±0.005	0.78 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.05	0.01 ± 0.005	0.34 ± 0.02	0.01 ± 0.005	0.04 ± 0.005	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.05	0.13 ± 0.01
رودآباد Rudabad	0.01 ± 0.005	0.41 ± 0.01	0.01 ± 0.005	0.02 ± 0.005	0.03 ± 0.005	0.62 ± 0.02	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.005	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.05	0.02 ± 0.01
خرشک Khereshk	0.07 ± 0.01	0.01 ± 0.005	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.05	0.01 ± 0.005	0.48 ± 0.01	0.01 ± 0.005	0.03 ± 0.005	0.01 ±0.01	0.04 ± 0.01	1.16 ± 0.02
شهران Shahran	0.01 ± 0.01	0.61 ± 0.01	0.02 ± 0.005	0.02 ± 0.005	0.02 ± 0.01	0.48 ± 0.01	0.06 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.005	0.05 ± 0.01	0.01 ± 0.005
حلیمه‌جان Halimejan	0.01 ± 0.005	1.68 ± 0.01	0.01 ± 0.005	0.22 ± 0.01	0.01 ± 0.005	0.45 ± 0.01	0.14 ± 0.01	0.01 ± 0.005	0.01 ± 0.005	0.04 ± 0.02	0.01 ± 0.01
براگور Baragour	0.05 ± 0.01	0.01 ± 0.005	0.01 ± 0.005	0.01 ± 0.05	0.01 ± 0.01	0.49 ± 0.05	0.01 ±0.005	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.005	0.02 ± 0.02	0.01 ± 0.005
شهر بیجار Shahre Bijar	0.05 ± 0.005	0.63 ± 0.01	0.01 ± 0.005	0.02 ± 0.005	0.01 ± 0.005	0.17 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.005	0.01 ± 0.005	0.03 ±0.01	0.05 ± 0.01
میرزاگلبند۱ Mirzagolband1	0.01 ±0.005	1.71 ±0.05	0.02 ±0.01	0.01 ± 0.005	0.02 ±0.01	0.01 ± 0.005	0.05 ± 0.01	0.01 ± 0.005	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.05	1.69 ± 0.02
میرزاگلبند۲ Mirzagolband2	0.14 ±0.01	0.65 ± 0.05	0.01 ± 0.005	0.02 ± 0.005	0.01 ± 0.005	1.16 ± 0.01	0.12 ± 0.15	0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.05 ± 0.01	0.02 ±0.01
شیخعلی‌طوسه۱ Sheikhali Touse1	0.01 ± 0.005	0.01 ± 0.005	0.01 ± 0.005	0.43 ± 0.02	0.11 ± 0.01	0.37 ± 0.01	0.05 ± 0.005	0.01 ± 0.01	0.02 ± 0.005	0.14 ± 0.01	0.04 ± 0.005
شیخعلی‌طوسه۲ Sheikhali Touse2	0.06 ± 0.005	3.96 ±0.01	0.02 ± 0.01	0.74 ± 0.13	0.05 ±0.005	2.06 ± 0.02	0.01 ± 0.005	0.01 ± 0.005	0.17 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.005

روند تغییرات و نوسانات غلظتی سموم آفت‌کش مشاهده شده در ایستگاه‌های موردمطالعه برای نمونه‌های خاک به‌صورت اتیون> متیل‌پاراتیون> دیازینون> آزینفوس‌متیل> بتامونفوس> پاراتیون> فنیتروتیون> مالاتیون> کلروپیریفوس> فنتیون> دیسولفوتون بود. هم‌چنین، روند تغییرات و نوسانات غلظتی سموم مشاهده شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه برای نمونه‌های آب به‌صورت دیازینون> مالاتیون> آزینفوس‌متیل> متیل‌پاراتیون> فنتیون> اتیون> بتامونفوس> پاراتیون> فنیتروتیون> کلروپیریفوس> دیسولفوتون بود. اتیون یک سم غیرسیستمیک ارگانوفسفره است که با اثرات تماسی- گوارشی با مهار آنزیم کولین استراز، آفات را از بین می‌برد. میزان سمیت این حشره‌کش برای گونه‌های پستانداران ۲۰۸-۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم، برای پرندگان ۲۰۰۰-۱۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و برای ماهی‌ها ۰/۷۲ میلی‌گرم بر لیتر است. حشره‌کش اتیون برای پرندگان تقریباً کم‌خطر و غیرسمی است اما برای ماهی‌ها و دیگر موجودات آبزی بسیار سمی است (۲۸). دیازینون به‌عنوان حشره‌کش و کنه‌کش با اثر تماسی، گوارشی و تنفسی طیف وسیعی از آفات جونده و مکنده را کنترل می‌کند. دیازینون علاوه بر خاصیت تماسی، دارای خاصیت نفوذی (عبور از برگ) می‌باشد ولی در بافت گیاهان نامتحرک است. سازگاری با گیاهان و نریختن برگ‌ها یا متوقف نشدن رشد و نمو ازجمله ویژگی-های این آفت‌کش است. دیازینون در محیط‌زیست نسبتاً پایدار است و تحرک زیادی دارد. غلظت دیازینون موجود در آب و خاک به‌وسیله فرآیندهای تبخیر، تجزیه نوری یا فتولیز، آبکافت یا هیدرولیز و تجزیه زیستی کاهش می‌یابد (۲۹). بر اساس طبقه‌بندی وزارت کشاورزی ایالات متحده[1]، اراضی شالیزاری منطقه موردمطالعه از محدوده گلورز تا شهران دارای رژیم رطوبتی زریک[2] و از محدوده حلیمه‌جان تا شیخعلی طوسه۲ دارای رژم رطوبتی یودیک[3] هستند. هم‌چنین بر اساس این طبقه‌بندی، اراضی شالیزاری منطقه موردمطالعه از محدوده گلورز تا شهران دارای رژیم حرارتی ترمیک[4] و از محدوده حلیمه‌جان تا شیخعلی طوسه۲ دارای رژیم حرارتی مزیک[5] می‌باشند (۳۰).

بر این اساس، نتایج نشان داد میان غلظت آفت‌کش‌های واقع در ایستگاه‌های با اقلیم مرطوب و نیمه‌خشک اختلاف معنی‌داری دیده می‌شود (شکل ۲). در ایستگاه‌های واقع در اقلیم مرطوب (ایستگاه‌های شماره ٦ تا ۱۲)، میانگین غلظت آفت‌کش‌ها بیش‌تر از ایستگاه‌های واقع در اقلیم نیمه‌خشک (ایستگاه‌های ۱ تا ۵) می‌باشد. به‌طورکلی، میانگین بار آلودگی و روند تغییرات غلظتی سموم ارگانوفسفره در ایستگاه‌های نزدیک به منطقه امام‌زاده هاشم (ایستگاه‌های شماره ٦ تا ۱۲ با اقلیم مرطوب و واقع در اراضی پایین‌دست) بیش‌تر از ایستگاه‌های نزدیک به شهر رودبار (ایستگاه‌های شماره ۱ تا ۵ با اقلیم نیمه‌خشک و واقع در اراضی بالادست) می‌باشد. علت اختلاف در ایستگاه‌های واقع در اراضی پایین‌دست در مقایسه با اراضی بالادست احتمالاً مربوط به انتقال سموم به واسطه ورود پساب‌های مزارع کشاورزی و شالیزارها از بالادست به سمت پایین‌دست باشد که همسو با مطالعات آقابیگی و همکاران (۲۰۱۸) و ماترو و همکاران (۲۰۲۱) می‌باشد (۳۱ و ۳۲). آن‌ها بیان کردند حرکت آفت‌کش‌ها در اثر جریان آب و فرسایش خاک از بالادست می‌تواند

1- United States Department of Agriculture (USDA)
2- Xeric
3- Udic
4- Thermic
5- Mesic

از دلایل افزایش غلظت آن‌ها در اراضی پایین‌دست باشد. هم‌چنین، درجه حرارت بر میزان غلظت آفت‌کش‌ها تأثیرگذار می‌باشد به‌طوری که با افزایش دما از غلظت آن‌ها کاسته می‌شود. درنتیجه به نظر می‌رسد که روند تغییر اقلیم از ایستگاه‌های واقع در محدوده امام‌زاده هاشم به سمت شهر رودبار که همراه با افزایش دما و خشکی محیط می‌باشد، دلیل کاهش غلظت آفت‌کش‌ها باشد. با توجه به سطح گسترده اراضی شالیزاری منطقه، استفاده از سموم ارگانوفسفره با تأثیر بر ویژگی‌های کیفی منابع آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع عمده آلودگی آب‌های کشاورزی در منطقه موردمطالعه می‌باشد. باید توجه داشت که آب، نقش مهمی در تولید برنج دارد زیرا بیشترین مقدار مصرف آب را در بین محصولات کشاورزی، گیاه برنج دارا می‌باشد (۳۳). در نتیجه، با توجه به نیاز آبی بیش‌تر برنج نسبت به سایر گیاهان زراعی، استفاده بی‌رویه از سموم می‌تواند ضمن آلودگی منابع آب موجب تجمع آن‌ها در اندام و بافت‌های گیاه و انتقال از طریق زنجیره غذایی به انسان گردد.



شکل ۲- میانگین غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره بین ایستگاه‌های واقع در اقلیم مرطوب و نیمه‌خشک (حروف غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف در سطح احتمال ۰/۰۵ بر اساس آزمون چنددامنه ای دانکن می‌باشد).

Figure 2. Mean concentration of organophosphorus pesticides between stations located in humid and semi-arid climates (not the same letters indicate a difference in probability level of 0.05 based on Duncan's multiple range test).

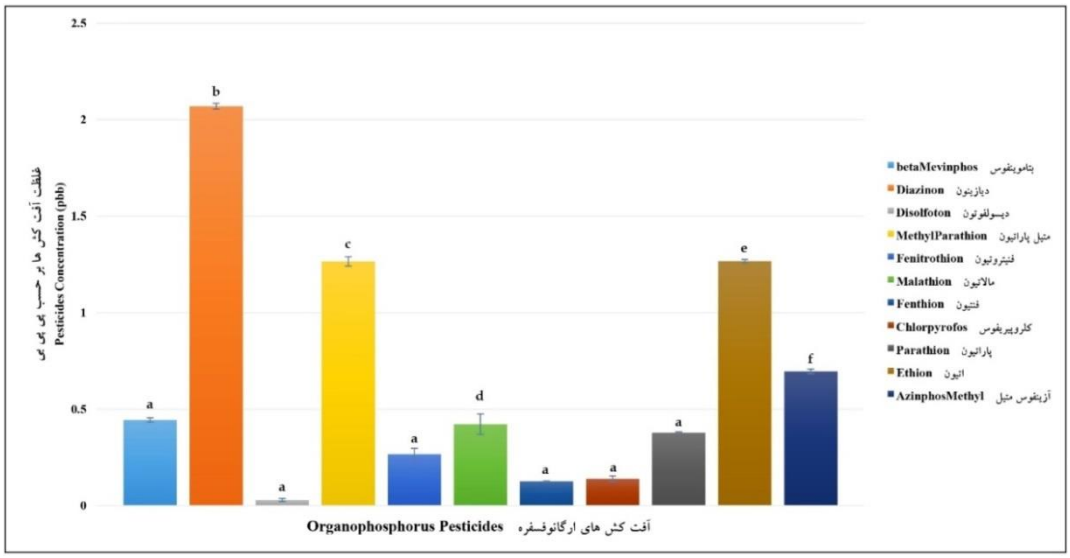
به‌منظور مقایسه میزان غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در ایستگاه‌های موردمطالعه از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه استفاده شد. نتایج نشان داد که بین غلظت آفت‌کش‌ها در تمامی ایستگاه‌ها مطابق جدول ۳، اختلاف معنی‌داری وجود دارد. در ادامه به جهت مشخص شدن تفاوت میان میزان غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در ایستگاه‌ها از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد. نتایج نشان داد که میزان غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز آفت‌کش‌های دیازینون، متیل پاراتیون، آزینفوس متیل، مالاتیون و اتیون برای سایر آفت‌کش‌ها اختلاف

معنی‌دار را نشان نمی‌دهد (شکل ۳). در این ارتباط، خبازی و همکاران (۲۰۱٤) چند عامل تأثیرگذار بر سرنوشت و رفتار آفت‌کش‌ها در محیط را معرفی کردند که می‌توان به جذب آفت‌کش در خاک، تبخیر، تجزیه شیمیایی و میکروبی، جذب به‌وسیله گیاهان، شستشوی سطحی و آبشویی اشاره نمود (۹).

جدول ۳- نتیجه آزمون واریانس یکطرفه در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 3. The result analysis one-way of variance in the studied stations.

Sig	F	میانگین مربعات Mean Square	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of Squares	
0.001	420.327	6.188	2	12.376	بین گروه‌ها Between Groups
		0.010	69	1.030	داخل گروه‌ها Within Groups
			71	13.406	مجموع Total



شکل ۳- مقایسه میانگین غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه

(حروف غیرمشابه بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار در سطح آماری ۰/۰۵ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد).

Figure 3. Comparison of the average concentration of organophosphorus pesticides in soil and water samples of the studied stations (not the same letters indicate a difference in probability level of 0.05 based on Duncan's multiple range test).

به‌منظور بررسی تفاوت میانگین غلظت سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک از آزمون آماری تی‌مستقل استفاده شد (جدول ٤). نتایج نشان داد که اگرچه میانگین غلظت آفت‌کش‌ها در نمونه‌های خاک بیش‌تر از نمونه‌های آب می‌باشد اما میانگین غلظت ارگانوفسفره‌ها در نمونه‌های آب و خاک از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را نشان نداد که با نتایج مطالعات کافلی و همکاران (۲۰۱۵)

مغایرت داشت. آن‌ها بیان کردند که ضمن وجود اختلاف معنی‌دار بین غلظت آفت‌کش‌ها در نمونه‌های آب و خاک، میانگین غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در نمونه‌های آب بیش‌تر از نمونه‌های خاک بود (۳٤). امینی و همکاران (۲۰۱۵) با بیان این‌که استفاده بی‌رویه از سموم شیمیایی از عوامل اصلی و مهم کاهش سریع و فشار روزافزون بر منابع پایه کشاورزی یعنی آب و خاک می‌باشد، راهبرد کلیدی در بحث کشاورزی معرفی نموده که استفاده بهینه و متعادل از سموم شیمیایی در جهت حفظ منابع آب و خاک یکی از مهم‌ترین اقدامات در راستای نیل به این هدف می‌باشد (۳۵).

جدول ٤- نتیجه آزمون تی‌مستقل به‌منظور بررسی تفاوت میانگین غلظت سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک.

Table 4. The result of independent t-test to evaluate the difference between the mean concentrations of organophosphorus pesticides in soil and water samples.

	آزمون لونز برای تساوی واریانس‌ها Levene's Test for Equality of Variances		تی تست برای تساوی میانگین‌ها T-test for Equality of Means			تفاوت میانگین‌ها	تفاوت خطای استاندارد	میانگین خاک	میانگین آب
	F	Sig	t	df	Sig(2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Soil Mean	Water Mean
فرض برابری واریانس Equal Variances Assumed	3.383	0.081	2.071	20	0.052	0.683	0.329	0.987	0.304
فرض عدم برابری واریانس Equal Variances not Assumed			2.071	17.611	0.053	0.683	0.329		

به منظور تعیین آفت‌کش‌های مهم تأثیرگذار و کوچک‌تر شدن حجم آن‌ها، داده‌ها به روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (روش چرخش واریماکس) با استفاده از ماتریس‌های ضرایب همبستگی تجزیه و تحلیل شدند. یکی از اهداف آمار چندمتغیره به‌ویژه روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی، بررسی وابستگی‌ها بین متغیرهای مشاهده شده می‌باشد به‌طوری‌که این روش از یک‌سو قادر به گروه‌بندی متغیرها بر طبق شباهت آن‌ها بوده و از سوی دیگر توانایی تعیین اهمیت نسبی بین این گروه‌ها را نیز دارند (۳٦). هدف از این کار مانند سایر انواع تحلیل‌های عاملی، کاهش مجموعه بزرگی از داده‌ها به تعداد کم‌تری عامل است که با توجیه بیش‌تر تغییرات موجود در داده‌ها (بیش‌ترین واریانس مجموعه داده‌ها) به راحتی در تحلیل‌های بعدی استفاده می‌گردند (۳۷). بر این اساس، از میان ۱۱ آفت‌کش ارگانوفسفره تعداد ٤ آفت‌کش تأثیرگذار در هر یک از نمونه‌های آب و خاک مشخص شدند (جدول ۵). بر اساس جدول ۵، ترتیب مهم‌ترین آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در نمونه‌های آب شامل دیازینون، مالاتیون، آزینفوس متیل و متیل پاراتیون؛ و مهم‌ترین آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در نمونه‌های خاک شامل دیازینون، متیل پاراتیون، اتیون و آزینفوس متیل می‌باشند. همسو با نتایج این پژوهش، رائو و وانی (۲۰۱۵) گزارش کردند که آزینفوس متیل، دیازینون و مالاتیون مهم‌ترین آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در اراضی ماهاپرادش هندوستان هستند (۳۸).

جدول ۵- نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای انتخاب مهم‌ترین آفت‌کش در خاک و آب.

Table 5. The results of principal components analysis to select the most important pesticides in soil and water.

نمونه‌های خاک Soil Samples		نمونه‌های آب Water Samples	
آفت‌کش Pesticide	مؤلفه Component	آفت‌کش Pesticide	مؤلفه Component
دیازینون Diazinon	0.878	دیازینون Diazinon	0.915
متیل پاراتیون Methyl Parathion	0.862	مالاتیون Malathion	0.875
اتیون Ethion	0.825	آزینفوس متیل Azinphos Methyl	0.852
آزینفوس متیل Azinphos Methyl	0.813	متیل پاراتیون Methyl Parathion	0.791

به‌منظور اندازه‌گیری میزان رابطه خطی بین آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد (جدول ٦). نتایج نشان داد در سطح معنی‌داری ۵ درصد، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین دیازینون با مالاتیون و هم‌چنین، دیازینون با متیل پاراتیون در نمونه‌های آب‌دیده می‌شود. در نمونه‌های خاک، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین اتیون با متیل پاراتیون در سطح معنی‌داری ۵ درصد وجود داشت. قابل ذکر است که هیچ‌گونه همبستگی بین سموم ارگانوفسفره در نمونه‌های آب با نمونه‌های خاک مشاهده نشد.

جدول ٦- ضریب همبستگی پیرسون سموم ارگانوفسفره در منطقه مورد مطالعه.

Table 6. Pearson correlation coefficient of organophosphorus toxins in the study area.

		خاک						آب				
		دیازینون Diazinon	متیل پاراتیون Methyl Parathion	اتیون Ethion	آزینفوس متیل Azinphos Methyl	دیازینون Diazinon	متیل پاراتیون Methyl Parathion	مالاتیون Malathion	آزینفوس متیل Azinphos Methyl
خاک	دیازینون Diazinon	1							
	متیل پاراتیون Methyl Parathion	-0.010	1						
	اتیون Ethion	0.384	**0.698***	1					
	آزینفوس متیل Azinphos Methyl	0.259	0.328	0.457	1				
آب	دیازینون Diazinon	-0.027	0.263	0.445	-0.247	1			
	متیل پاراتیون Methyl Parathion	-0.226	0.408	0.479	-0.182	**0.621***	1		
	مالاتیون Malathion	0.361	0.190	0.461	-0.217	**0.659***	0.556	1	
	آزینفوس متیل Azinphos Methyl	0.159	0.378	0.082	0.116	0.025	-0.291	-0.334	1

* همبستگی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵

* Correlation is Significant at the 0.05 Level (2-tailed)

به‌منظور مقایسه میانگین غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در منطقه مورد مطالعه با خصوصیات فیزیکوشیمیایی و اکوتوکسیکولوژی آن‌ها از NPIC و PPDB استفاده گردید (جدول ۷). نتایج نشان داد که با توجه به مقدار فاکتور جذب‌زیستی، تمامی آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در منطقه موردمطالعه دارای جذب زیستی کمی هستند. هم‌چنین، تمامی آفت‌کش‌های ارگانوفسفره با توجه به غلظتشان در نمونه‌های آب منطقه موردمطالعه دارای حلالیت کمی می‌باشند. از نظر پتانسیل خطر و سمیت برای آبزیان (ماهی‌ها) غلظت آفت‌کش‌های بتامو‌ینفوس، مالاتیون و آزینفوس متیل بسیار بالا بوده که این آفت‌کش‌ها را در وضعیت خطر بالا و سمی برای آبزیان منطقه موردمطالعه قرار داده است. هم‌چنین، آفت‌کش کلروپیریفوس در وضعیت آستانه خطر بالا و سمیت برای آبزیان جای دارد. با توجه به نتایج به دست آمده، مقادیر بقایای سموم ارگانوفسفره در نمونه‌های آب عامل محدودکننده برای آبزی‌پروری منطقه است. اثر سمی آفت‌کش‌ها بر موجودات غیرهدف یک اتفاق معمول است. ماهی‌ها اصلی‌ترین گونه‌های غیرهدف هستند که از کاربرد سموم خطرناک متأثر می‌شوند (۳۹). رودخانه سفیدرود به دلیل وجود مزارع برنج در مجاورت آن، همه‌ساله مقادیر قابل‌توجهی سموم شیمیایی از طریق زهکش‌های طبیعی، شستشوی خاک مزارع بر اثر بارش باران و وزش باد دریافت می‌کند (٤٠). از طرفی، در مورد باقی‌مانده آفت‌کش‌ها در منابع آب، عوامل مختلفی فیزیکی، شیمیایی و زیستی مانند دمای آب، تبخیر، فتولیز، هیدرولیز، اکسیداسیون و احیا، جذب سطحی آفت‌کش به مواد آلی آب و خاک، pH، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آفت‌کش، شرایط محیطی، نزولات جوّی و نزدیکی مناطق کشاورزی به رودخانه مهم و مؤثرند (٤١). در مطالعه‌ای که توسط پتیتا و مارینو (۲۰۱۰) در جهت مدیریت آب در دشت فوسینوی ایتالیا انجام گرفت، نتایج نشان داد که ریزش‌های جوی و آبیاری نقش بسیار مهمی را در انتقال آفت‌کش‌ها به منابع آب سطحی ازجمله رودخانه‌ها دارند (٤٢). با در نظر گرفتن نتایج، حرکت آفت‌کش‌ها در اثر جریان آب از شالیزارها و انتقال آن‌ها به مزارع پرورش ماهی و هم‌چنین رودخانه سفیدرود باعث می‌شود تا موجودات آبزی ازجمله ماهی‌ها در معرض خطر آلودگی این سموم قرار بگیرند زیرا سموم آفت‌کش موجود در آب به بافت‌های بدن موجودات زنده موجود در آب منتقل می‌گردد که این نتایج همسو با مطالعات باراتا و همکاران (۲۰۰٤) و ثقفی‌پور و همکاران (۲۰۱۹) می‌باشد (٤۳ و ٤٤). در مطالعه‌ای که توسط فیانکو و همکاران (۲۰۱۱) در کشور غنا بر روی باقی‌مانده آفت‌کش‌ها در ماهی‌ها و هم‌چنین خطرات مرتبط مواجهه با آفت‌کش‌ها انجام گرفت نشان می‌دهد که بیش از ۹۰ درصد کشاورزان احتیاطات لازم را در مورد فرمولاسیون و کاربرد آفت‌کش‌ها انجام نمی‌دهند و این عمل باعث شیوع بیماری‌های مرتبط با آفت‌کش‌ها در این نواحی کشاورزی شده است (٤٥). حسنی و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند آفت‌کش‌ها با ورود به آب در بافت‌های بدن جانوران آبزی تجمع‌یافته و درنتیجه از این طریق وارد زنجیره غذایی می‌شوند (٤٦). طی مطالعه‌ای در کالیفرنیا در رابطه با مسمومیت آبزیان با هدف بررسی مسمومیت حاد و مزمن در رودخانه بر اثر آفت‌کش‌ها، علت مسمومیت آبزیان را به آفت‌کش‌های ارگانوفسفره ازجمله دیازینون نسبت دادند (٤٧). نتایج پژوهشی بر روی رودخانه کرج نشان داد که باقی‌مانده حشره‌کش مالاتیون تا یک ماه پس از سم‌پاشی بیش‌تر از مقادیر مجاز بوده و می‌تواند بر روی افرادی که در آن نواحی زندگی می‌کنند و از آب و محصولات کشاورزی در آن‌جا استفاده می‌کنند، اثرات ناخوشایندی را ایجاد کند (٤٨). به‌طورکلی، عوارض سوء ناشی از مسمومیت با آفت‌کش‌ها در کل

شامل عوارض کوتاه‌مدت مانند درد ناحیه شکمی، سرگیجه، سردرد، دوبینی، حالت تهوع، مشکلات چشمی و پوستی؛ از عوارض بلندمدت آن می‌توان به افزایش احتمال بروز مشکلات تنفسی، اختلال حافظه، افسردگی، نواقص عصبی، سرطان و عقیمی اشاره نمود که این اثرات بلندمدت به‌عنوان یک مشکل جهانی بهداشت عمومی محسوب می‌شود (۴۹).

جدول ۷- مقایسه غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک با ویژگی‌های مختلف فیزیکوشیمیایی و اکوتوکسیکولوژی.

Table 7. Comparison of organophosphorus pesticides in soil and water samples with different physicochemical and ecotoxicological characteristics.

آفت‌کش ارگانوفسفره Organophosphorus Pesticide	نیمه عمر خاک (روز) Soil Half-Life (days)	ضریب جذب به خاک Sorption Coefficient (Soil Koc)	حلالیت در آب Solubility in Water at 20°C (mgL^{-1})		فاکتور غلظت زیستی Bio-Concentration Factor (Lkg^{-1})		غلظت حاد کشنده ماهی Fish-Acute 96-hour LC_{50} (mgL^{-1})		غلظت در خاک (مطالعه حاضر) Concentration in Soil (This Study)	غلظت در آب (مطالعه حاضر) Concentration in Water (This Study)
			مقدار	خطر	مقدار	پتانسیل خطر	مقدار	خطر		
بتامووینفوس Beta Mevinphos	3	44	600000	بالا High	ریسک کم Low Risk	ریسک کم Low Risk	0.012	بالا High	0.845	0.043
دیازینون Diazinon	40	1000	60	متوسط Moderate	500	آستانه نگرانی Threshold of Concern	3.1	متوسط Moderate	2.053	2.088
دیسولفوتون Disolfoton	30	600	25	کم Low	460	آستانه نگرانی Threshold of Concern	0.039	بالا High	0.042	0.017
متیل پاراتیون Methyl Parathion	5	5100	55	متوسط Moderate	71	کم Low	>2.7	متوسط Moderate	2.364	0.168
فنیتروتیون Fenitrothion	4	2000	19	کم Low	29	کم Low	1.3	متوسط Moderate	0.501	0.033
مالاتیون Malathion	1	1800	148	متوسط Moderate	103	آستانه نگرانی Threshold of Concern	0.018	بالا High	0.272	0.573
فنتیون Fenthion	34	1500	4.2	کم Low	154	آستانه نگرانی Threshold of Concern	0.8	متوسط Moderate	0.200	0.052
کلروپیریفوس Chlorpyrofos	30	6070	1.05	کم Low	1374	آستانه نگرانی Threshold of Concern	0.025	بالا High	0.255	0.023
پاراتیون Parathion	14	5000	12.4	کم Low	40	کم Low	1.5	متوسط Moderate	0.722	0.034
اتیون Ethion	150	10000	2	کم Low	586	آستانه نگرانی Threshold of Concern	0.5	متوسط Moderate	2.488	0.046
آزینفوس متیل Azinphos Methyl	10	1000	28	کم Low	40	کم Low	0.02	بالا High	1.12	0.272

نتیجه‌گیری کلی

این پژوهش با هدف تعیین غلظت سموم آفت‌کش ارگانوفسفره در شالیزارهای شهرستان رودبار انجام گرفت. بر این اساس، تعداد ۱۱ آفت‌کش ارگانوفسفره در نمونه‌های آب و خاک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد غلظت باقی‌مانده آفت‌کش‌های اتیون و دیازینون نسبت به سایر آفت‌کش‌ها به ترتیب در نمونه‌های خاک و آب دارای مقادیر بالاتر بودند. در این پژوهش مشخص شد که بار آلودگی و روند تغییرات غلظتی سموم ارگانوفسفره از اراضی بالادست به سمت اراضی پایین‌دست به دلیل انتقال پساب‌های کشاورزی دارای روند افزایشی می باشد. مقایسه میانگین غلظت آفت‌کش‌های ارگانوفسفره با خصوصیات اکوتوکسیکولوژی آن‌ها بیانگر پتانسیل خطر و سمیت بالا برای آبزیان از جمله ماهی‌ها برای سموم بتامونفوس، مالاتیون و آزینفوس‌متیل بود. وجود این آفت‌کش‌ها در سطوحی بالاتر از حد قابل‌قبول برای بقای موجودات آبزی به وضوح نشان‌دهنده خطرات اکولوژیکی مرتبط با قرار گرفتن در معرض این گونه‌ها و احتمال انتقال آلودگی در طول زنجیره غذایی و خطر افزایش استفاده مداوم از آن‌ها برای سلامت انسان می‌باشد. بر اساس نتایج این پژوهش بازدید، ارزیابی و نظارت دوره‌ای توسط کارشناسان بر غلظت باقی‌مانده آفت‌کش‌ها در اراضی شالیزاری این منطقه به منظور پیشگیری، کنترل و کاهش آلودگی محیط‌زیست ضروری است. هم‌چنین، لازم است با برگزاری کلاس‌های توجیهی به کشاورزان و ساکنان منطقه در مورد خطرات آفت‌کش‌ها جهت کنترل آفات، آموزش داده شود. به طور کلی، پیشنهاد می‌شود ضمن مطالعه در مورد انتقال بار آلودگی و فعل و انفعالات آفت‌کش‌ها، تحقیقات بیش‌تری جهت مدلسازی پتانسیل خطرات آن‌ها در خاک و آب انجام شود.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از مدیریت محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان به جهت همکاری و از شرکت دانش بنیان آریا شیمی شریف به جهت آنالیز دستگاهی، تقدیر و تشکر می‌نمایند.

داده ها و اطلاعات

داده‌های این مقاله برگرفته بخشی از رساله دکتری در حال انجام در دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان در اراضی کشاورزی شهرستان رودبار استان گیلان می‌باشد.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این موضوع مورد تأیید تمامی نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان در تمامی مراحل تهیه آن از ایده پردازی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و نگارش مقاله مشارکت و همکاری داشته‌اند.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این مقاله از حمایت مالی برخوردار نبوده است.

منابع

1. Abdullah, M.P., Nabhan, K.J., Al-Qaim, F.F., Ishak, A., and Rozali, M. 2017. Analysis of pesticide residues in water sample: occurrence of pesticides in paddy field. Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences. 10: 3. 1159-1166.
2. Bhandari, G., Atreya, K., Scheepers, P.T., and Geissen, V. 2020. Concentration and distribution of pesticide residues in soil: Non-dietary human health risk assessment. Chemosphere. 253: 126594.
3. Lewis, S.E., Silburn, D.M., Kookana, R.S., and Shaw, M. 2016. Pesticide behavior, fate, and effects in the tropics: an overview of the current state of knowledge. Journal of agricultural and food chemistry. 64: 20. 3917-3924.
4. Chowdhury, A.Z., Jahan, S.A., Islam, M.N., Moniruzzaman, M., Alam, M.K., Zaman, M.A., Karim, N., and Gan, S.H. 2012. Occurrence of organophosphorus and carbamate pesticide residues in surface water samples from the Rangpur district of Bangladesh. Bulletin of environmental contamination and toxicology. 89: 1. 202-207.
5. Kaushal, J., Khatri, M., and Arya, SK. 2021. A treatise on Organophosphate pesticide pollution: Current strategies and advancements in their environmental degradation and elimination. Ecotoxicology and Environmental Safety. 207: 111483.
6. Cabrerizo, A., Dachs, J., Moeckel, C., Ojeda, M.J., Caballero, G., Barceló, D., and Jones, K.C. 2011. Factors influencing the soil–air partitioning and the strength of soils as a secondary source of polychlorinated biphenyls to the atmosphere. Environmental science & technology. 45: 11. 4785-4792.
7. Jaipieam, S., Visuthismajarn, P., Sutheravut, P., Siriwong, W., Thoumsang, S., Borjan, M., and Robson, M., 2009. Organophosphate pesticide residues in drinking water from artesian wells and health risk assessment of agricultural communities, Thailand. Human and ecological risk assessment. 15: 6. 1304-1316.
8. Shamsazar, A., Shamsazar, F., and Asadi, A. 2019. Investigation of environmental contamination caused by organophosphate pesticides by acetylcholinesterase biosensor. Human & Environment. 17: 1. 39-48. (In Persian)
9. Khabazi, S., Moor, F., Keshavarzi, B., and Kermani, M. 2014. Environmental impact of agricultural land contamination of organochlorine and organophosphorus pesticides, Isfahan metropolis. Iranian Journal of Environmental Geology. 8: 27. 41-56. (In Persian)
10. Fosu-Mensah, B.Y., Okoffo, E.D., Darko, G., and Gordon, C. 2016. Organophosphorus pesticide residues in soils and drinking water sources from cocoa producing areas in Ghana. Environmental Systems Research. 5: 1. 1-12.
11. Arjmandi, R., Tavakol M., and Shayeghi, M. 2010. Determination of organophosphorus insecticide residues in the rice paddies. International journal of environmental science & technology. 7: 1. 175-182.
12. Añasco, N., Uno, S., Koyama, J., Matsuoka T., and Kuwahara, N. 2010. Assessment of pesticide residues in freshwater areas affected by rice paddy effluents in Southern Japan. Environmental monitoring and assessment. 160: 1. 371-383.
13. Pan, L., Sun, L., Li, Z., Zhan, Y., Xu, S., and Zhu, L. 2018. Organophosphate pesticide in agricultural soils from the Yangtze River Delta of China: concentration, distribution, and risk assessment. Environmental Science and Pollution Research. 25: 1. 4-11.
14. Mekonen, S., Argaw, R., Simanesew, A., Houbraken, M., Senaeve, D., Ambelu, A., and Spanoghe, P. 2016. Pesticide residues in drinking water and associated risk to consumers in Ethiopia. Chemosphere. 162: 252-260.
15. Zhong, Y., and Zhu, L. 2013. Distribution, input pathway and soil–air exchange of polycyclic aromatic hydrocarbons in Banshan Industry Park, China. Science of the Total Environment. 444: 177-182.
16. Hantush, M., Marino, M., and Islam, M. 2000. Models for leaching of pesticides in soils and groundwater. Journal of Hydrology. 227: 1-4. 66-83.
17. Bahmani, O., Atlasi Pak, V., and Ghaytrani, M. 2022. Determination of Dispersion Coefficient of Deltamethrin in Short Transfer Intervals in Wheat Biochar Soil Columns. Journal of Water and Soil Conservation. 28: 4. 225-237. (In Persian)

18. Pouryazdankhah, H., Shahnazari, A., Ahmadi, M.Z., Khaledian, M., and Andersen, M.N. 2019. Rice yield estimation based on forecasting the future condition of groundwater salinity in the Caspian coastal strip of Guilan Province, Iran. Environmental monitoring and assessment. 191: 8. 1-16.
19. Mohammadi Galangash, M., Ghasemi Zolpirani, R., and Naimi Joubani, M. 2020. Evaluation of roadside soils pollution with heavy metals (Pb, Ni, Cu, Zn) in the Rasht-Qazvin old road (Guilan province). Iranian Journal of Health and Environment. 13: 3. 409-420. (In Persian)
20. Ramezani, B. 2004. Introdution of Rivas Martinez climatic classification Case study: Guillan and Khorasan province. Territory. 1: 3. 56-65. (In Persian)
21. Modarres, R., and Sarhadi, A. 2011. Statistically-based regionalization of rainfall climates of Iran. Global and Planetary Change. 75: 1-2. 67-75.
22. Mohamadi, M., Ghasemi, R., and Naeimi, M. 2018. Distribution pattern of heavy metals in roadside Topsoils around the Rasht-Qazvin freeway. Journal of Health. 9: 3. 249-258. (In Persian)
23. Lewis, K., and Tzilivakis, J. 2017. Development of a data set of pesticide dissipation rates in/on various plant matrices for the pesticide properties database (PPDB). Data. 2: 3. 28.
24. Hageman, K.J., Hafner, W.D., Campbell, D.H., Jaffe, D.A., Landers, D.H., and Simonich, S.L.M. 2010. Variability in pesticide deposition and source contributions to snowpack in western US national parks. Environmental science & technology. 44: 12. 4452-4458.
25. Wauchope, R.D., Buttler, T., Hornsby, A., Augustijn-Beckers, P., and Burt, J. 1992. The SCS/ARS/CES pesticide properties database for environmental decision-making. Reviews of environmental contamination and toxicology. pp. 1-155.
26. Augustijn-Beckers, P., Hornsby, A., and Wauchope, R. 1994. The SCS/ARS/CES pesticide properties database for environmental decision-making. II. Additional compounds. Reviews of environmental contamination and toxicology. pp. 1-82.
27. Golshani, R., Zafarani, G.G., Rebezov, M., Karbalaei, S., and Walker, T.R. 2022. Assessment of Organophosphorus Pesticide Residues in Water and Sediment Collected from the Southern Caspian Sea. Applied Environmental Research. 44: 2. 18-31. (In Persian)
28. Venkatachalapathy, R., Packirisamy, A.S.B., Ramachandran, A.C.I., Udhyasooriyan, L.P., Peter, M.J., Senthilnathan, K., Basheer, V.A., and Muthusamy, S. 2020. Assessing the effect of chitosan on pesticide removal in grape juice during clarification by gas chromatography with tandem mass spectrometry. Process biochemistry. 94: 305-312.
29. Alfonso, L.F., Germán, G.V., Del Carmen P.C.M., and Hossein, G. 2017. Adsorption of organophosphorus pesticides in tropical soils: the case of karst landscape of northwestern Yucatan. Chemosphere. 166: 292-299.
30. Ahmadi, O., Alamdari, P., Servati, M., and Khoshzaman, T. 2021. Investigate the suitability and capability of lands using parametric methods to achieve sustainable development. Geography and Development Iranian Journal. 18: 61. 1-28. (In Persian)
31. Aghabeigi, A., Gholami Sefidkouhi, M.A., Raeini, M., and Yazdani, M. 2018. Evaluation and Comparison of Water Productivity in Traditional and Consolidated Paddy Fields in Astaneh Ashrafieh County. Journal of Water Research in Agriculture. 32: 4. 485-497. (In Persian)
32. Materu, S.F., Heise, S., and Urban, B. 2021. Seasonal and Spatial Detection of Pesticide Residues Under Various Weather Conditions of Agricultural Areas of the Kilombero Valley Ramsar Site, Tanzania. Frontiers in Environmental Science. 9: 599814.
33. Bouman, B. 2007. A conceptual framework for the improvement of crop water productivity at different spatial scales. Agricultural systems. 93: 1-3. 43-60.

34. Kafle, B.K., Pokhrel, B., Shrestha, S., Raut, R., and Dahal, B.M. 2015. Determination of pesticide residues in water and soil samples from Ansikhola watershed, Kavre, Nepal. International Journal of Geology, Earth & Environmental Sciences. 5: 2. 119-127.
35. Amini, A., Nouri, S., and Sangdeh, B.A. 2015. Evaluation of rice production sustainability using multi criteria decision making methods: the case of Rezvanshahr county. Iranian Agricultural Extension and Education Journal. 11: 1. (In Persian)
36. Tabi, F., Omoko, M., Boukong, A., Mvondo Ze, A., Bitondo, D., and Fuh-Che, C. 2012. Evaluation of lowland rice (Oryza sativa) production system and management recommendations for Logone and Chari flood plain–Republic of Cameroon. Agricultural Science Research Journals. 2: 5. 261-273.
37. Hill, T., Lewicki, P., and Lewicki, P. 2006. Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining, StatSoft, Inc.
38. Rao, R., and Wani, K. 2015. Monitoring of organochlorine and organophosphorus pesticide residues in water during different seasons of Tighra reservoir Gwalior, Madhya Pradesh, India. Environmental monitoring and assessment. 187: 11. 1-14.
39. Hasanuzzaman, M., Rahman, M.A., Sharker, T., Haque, W., and Uddin, M.A. 2019. Study on organochlorine and organophosphorus pesticide residues in surface and underground water samples of Daudkandi Upazila in Bangladesh. American-Eurasian J. Agric. Environ. Sci. 19: 4. 271-278.
40. Najafpour, Sh., and Heidari Seyed Mahaleh, E. 2015. Determination of organochlorine pesticides in sediment of Caspian Sea in coastal part of Mazandaran province and the survey of their possibility effects on fish feeding benthic matters. New Technologies in Aquaculture Development. 8: 4. 54-82. (In Persian)
41. Abedikoupai, J., Nasri, Z., Talebi, Kh., Mamanpoush, A., and Mousavi, S.F. 2011. Investigation of Zayandehrud water pollution by diazinon and its assimilative capacity. Journal of Water and Soil Science. 15: 56. 1-20. (In Persian)
42. Petitta, M., and MariÑo, MA. 2010. Numerical simulation of pesticide transport and fate for water management in the Fucino Plain, Italy. Journal of water resource and protection. 2: 1. 29-41.
43. Barata, C., Solayan, A., and Porte, C. 2004. Role of B-esterases in assessing toxicity of organophosphorus (chlorpyrifos, malathion) and carbamate (carbofuran) pesticides to Daphnia magna. Aquatic toxicology. 66: 2. 125-139.
44. Saghafipour, A., Khaksar, M.R., Jesri, N., and Rezaei, F. 2019. The assessment of Diazinon, Carbaryl and Azinphous metyl pesticides Residue in the rivers of Qom, Iran in 2016. Journal of Environmental Science and Technology. 21: 9. 137-146. (In Persian)
45. Fianko, J.R., Donkor, A., Lowor, S.T., Yeboah, P.O., Glover, E.T., Adom, T., and Faanu, A. 2011. Health risk associated with pesticide contamination of fish from the Densu River Basin in Ghana. Journal of Environmental Protection. 2: 02. 115.
46. Hasany, A.H., Sayadi, M., and Jafari, S. 2011. Investigation of pesticides effect on groundwater quality of shemiran villages. Water and Wastewater. 23: 8. 119-129. (In Persian)
47. Arjmandi, R., Shayeghi, M., and Tavakol, M. 2008. The study of the residue of diazinon insecticide in the rice fields in amol. Plant and Ecosystem. 3: 12. 2-16. (In Persian)
48. Shayeghi, M., Khoobdel, M., and Vatandoost, H. 2007. Determination of organophosphorus insecticides (malathion and diazinon) residue in the drinking water. Pakistan journal of biological sciences. PJBS. 10: 17. 2900-2904.
49. Khodadadi, M., Samadi, M., Rahmani, A., Maleki, R., Allahresani, A., and Shahidi, R. 2010. Determination of organophosphorous and carbamat pesticides residue in drinking water resources of Hamadan in 2007. Iranian Journal of Health and Environment. 2: 4. 250-257. (In Persian)