Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 17, No. 1, 2025, p. 61-90

Evaluation of Environmental Effects of Applied Pesticides on Canola (*Brassica napus* L.), Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.), and Potato (*Solanum tuberosum* L.) Fields in Ali Abad Katool County, Golestan Province by EIQ Model

Zahra Deilam[1], Hossein Kazemi[2]*, Maral Neiazmoradi[3], Javid Gherekholoo[2]

1. MSc. Student, Department of Agronomy, Faculty of Crop Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Crop Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. PhD, Department of Agronomy, Faculty of Crop Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

(*- Corresponding author's Email: hkazemi@gau.ac.ir)

Received: 01-08-2024
Revised: 01-01-2025
Accepted: 22-02-2025
Available Online: 21-05-2025

How to cite this article:
Deilam, Z., Kazemi, H., Neiazmoradi, M., & Gherekholoo, J. (2025). Evaluation of environmental effects of applied pesticides on Canola (*Brassica napus* L.), Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.), and Potato (*Solanum tuberosum* L.) fields in Ali Abad Katool county, Golestan province by EIQ model. *Journal of Agroecology*, *17*(1), 61-90. (In Persian with English abstract)
https://doi.org/10.22067/Agry.2025.89160.1204

Introduction

Considering the growth of the human population, limited resources in the agricultural sector, and the urgent need to increase production, it is essential to implement logical and principled pest control measures, with a strong emphasis on protecting the health of farmers, community members, and the environment. The Environmental Impact Quotient (EIQ) can show the risk of different agricultural pesticides by considering the amount of damage to the health of these three components. This study investigated the environmental effects of pesticides used in canola, sugar beet, and potato fields in Aliabad Katool County (Golestan province), during 2021-2022.

Materials and Methods

For this purpose, 21 canola fields, six potato fields, and five sugar beet fields were randomly selected and information related to pesticide spraying, field area, crop rotation, and crop yield with continuous monitoring, face-to-face interviews, and completed questionnaires was collected from farmers. Also, the EIQ values related to the pesticide use in these fields were collected through articles and reliable websites. The amount of environmental effect of pesticides per hectare (EIQ-FUR) was obtained from the product of their EIQ value in the amount of effective substance and the consumption amount per hectare. The amount of environmental damage of each field

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

https://doi.org/10.22067/Agry.2025.89160.1204

was calculated from the sum of EIQ-FURs of pesticides consumed in that field per hectare. Finally, a classification map of the extent of environmental damage to the studied crops was prepared in Ali Abad Katool county.

Results and Discussion

In general, among the pesticides used in these farms, the highest damage to farm workers is in the group of herbicides related to Gramaxone, in the group of insecticides related to Phosalone, Chlorpyrifos, and Thiacloprid, and in the group of fungicides, Mancozeb, Cyproconazole+Carbendazim, and Tebuconazole. Also, the fungicides Tebuconazole, Cyproconazole+Carbendazim, and Thiophanate-methyl showed more damage to consumers, and the risk of leaching in the environment compared to the group of herbicides, and insecticides. Investigating the pesticides used and damage to the ecological components, two insecticides, Diazinon and Chlorpyrifos, were introduced as the most dangerous pesticides on the organisms of the environment. Based on the average of these damages, or in other words, the EIQ index for each pesticide, Cyproconazole+Carbendazim, Chlorpyrifos and Diazinon, Tebuconazole and Imidaclopride 35 % and Imidaclopride 70 % were identified as the most dangerous pesticides in the studied fields. The highest environmental effect of pesticides per hectare belongs to Mancozeb fungicide with EIQ-FUR equal to 61.72. This fungicide has an average EIQ (25.72) compared to pesticides such as Cyproconazole+Carbendazim, Chlorpyrifos and Diazinon, etc., but due to the high percentage of the effective substance and the amount used in the potato fields of the region (3 liters per hectare), causes the most damage and toxicity to the environment. Also, the increase in the frequency and amount of Trifluralin herbicide consumption in potato fields (4 liters per hectare) has caused it to be introduced as the second most dangerous pesticide in the region. In addition, the insecticides chlorpyrifos (1.5 liters) and diazinon (one liter) and the fungicide methyl thiophanate (one liter) are respectively EIQ-FUR and have a higher environmental effect than other pesticides per hectare unit and therefore more planning should be done in their use or replacement.

Conclusion

The distribution map of the environmental effects of pesticides in the investigated crops showed that most of the canola and sugar beet fields were in the class of low and very low risk, while the potato fields were in the class of medium and high risk. In other words, the environmental effect and pollution caused by potato cultivation has been more than the other two crops. The increase in the consumption of fungicides and herbicides in potato cultivation has led to increased damage to organisms and the environment.

Acknowledgments

We would like to thank Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, wheat and barley farmers, and agricultural Jihad management of Fazel Abad region, Ali Abad Katool County for their cooperation in conducting this research.

Keywords: Fungicide, Herbicide, Insecticide

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۷، شماره ۱، بهار ۱٤۰٤، ص ۹۰-٦۱

بررسی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مورد استفاده در مزارع کلزا (*Brassica napus* L.)، چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) و سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) شهرستان علی آباد کتول استان گلستان با استفاده از شاخص EIQ

زهرا دیلم[۱]، حسین کاظمی[۲*]، مارال نیازمرادی[۳]، جاوید قرخلو[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۰۴

چکیده

شاخص تأثیر زیست‌محیطی (EIQ) می‌تواند میزان خطر سموم مختلف کشاورزی را نشان دهد. این مطالعه به بررسی اثرات زیست‌محیطی آفت‌کش‌های مورد استفاده در ۲۱ مزرعه کلزا (*Brassica napus* L.)، شش مزرعه سیب‌زمینی(*Solanum tuberosum* L.) و پنج مزرعه چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در شهرستان علی‌آباد کتول (استان گلستان) در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد. اطلاعات مربوط به سم‌پاشی آفت‌کش‌ها، مزارع، تناوب زراعی و عملکرد محصول با پایش مستمر و مصاحبه چهره‌به‌چهره از کشاورزان جمع‌آوری شد. مقدار اثر محیط زیستی سموم در واحد هکتار (EIQ-FUR)، از حاصل‌ضرب مقدار EIQ آن‌ها در مقدار ماده مؤثره و مقدار مصرف در واحد هکتار به دست آمد. در نهایت، نقشه طبقه‌بندی میزان آسیب محیط زیستی مزارع تهیه گردید. در میان آفت‌کش‌های مصرف‌شده، بیش‌ترین میزان آسیب به کارگر مزرعه در گروه علف‌کش‌ها متعلق به گراماکسون، در گروه حشره‌کش‌ها مربوط به فوزالن، کلرپیریفوس و تیاکلوپراید و در گروه قارچ‌کش‌ها به مانکوزب، سایپروکونازول + کاربندازیم و تبوکونازول تعلق گرفت. همچنین قارچ‌کش‌های تبوکونازول، سایپروکونازول + کاربندازیم و تیوفانات متیل در مقایسه با گروه آفت‌کشی علف‌کش و حشره‌کش، آسیب بیش‌تری بر جزء مصرف‌کنندگان و خطر آب‌شویی در محیط زیست نشان دادند. بررسی آفت‌کش‌های مصرفی و آسیب بر اجزای بوم‌شناختی، دو حشره‌کش دیازینون و کلرپیریفوس را به‌عنوان خطرناک‌ترین آفت‌کش‌ها برای موجودات محیط زیست معرفی کرد. بررسی نقشه‌ها نشان داد که اکثر مزارع کلزا و چغندرقند در طبقه آسیب کم و خیلی کم قرار گرفته‌اند، درحالی¬که مزارع سیب‌زمینی در طبقه آسیب محیط زیستی متوسط و زیاد قرار دارند. به عبارتی، اثر زیست‌محیطی و آلودگی ناشی از کشت سیب‌زمینی بیش‌تر از دو محصول دیگر بود.

واژه‌های کلیدی: حشره‌کش، علف‌کش، قارچ‌کش

مقدمه

آفت‌کش‌ها به‌طور کلی به حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، کنه‌کش‌ها، حلزون‌کش‌ها، نماتدکش‌ها و جونده‌کش‌ها اطلاق می‌شوند. نکته حائز اهمیت این است که این ترکیبات شیمیایی تنها آفات را از بین نمی‌برند، بلکه برای موجودات زنده دیگر مهره‌دار و بی‌مهره، از جمله خود انسان به‌خصوص از لحاظ پایداری در طبیعت دارای

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲-استاد، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- دانش آموخته دکتری، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email:hkazemi@gau.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/Agry.2025.89160.1204

تأثیرات نامطلوب هستند (Dehghani et al., 2012). سموم شیمیایی نقش مهمی را در تولید محصولات کشاورزی در کشورهای در حال توسعه ایفا می‌کنند. این نهاده‌ها باعث شده‌اند که با هزینه‌های کم‌تر، محصول بیش‌تری از هر هکتار از زمین‌های کشاورزی برداشت شود و همچنین بازده نهاده‌های نیروی کار و سرمایه افزایش یابد. پیامدهای منفی کاربرد این نهاده‌ها در بخش کشاورزی روی سلامتی انسان، محیط زیست، کیفیت آب‌های زیرزمینی در گذشته مورد غفلت قرار گرفته است؛ که این امر دستیابی به توسعه پایدار بخش کشاورزی را با تهدید روبه‌رو کرده است (Molaei et al., 2017). این سموم شیمیایی به دو طریق بر سلامت انسان تأثیر می‌گذارند: اول، اثرهای مضر سموم شیمیایی بر سلامت کاربران سموم؛ دوم، تأثیر باقی‌مانده سموم شیمیایی در محصولات غذایی بر سلامت مصرف‌کنندگان. سروکار داشتن با این مواد شیمیایی اساساً سمی، از جمله آماده کردن و پاشیدن، نگهداری و انبار کردن، خطرهای زیادی برای کشاورزان و مزرعه‌داران و نگه‌دارندگان سموم در پی دارد (Barghi et al., 2017). هزینه‌ها و خطرات سلامتی ناشی از استفاده ناایمن و بیش از حد آفت‌کش‌ها، به‌علت آلودگی محصولات کشاورزی، افزایش توسعه مقاومت علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها به آفت‌کش‌ها و تأثیر آن بر فرآیندهای تولید کشاورزی، محیط زیست و سلامت انسان‌ها بسیار بالا است، زیرا کشاورزان در معرض آفت‌کش‌ها، هزینه‌های زیادی را ناشی از بستری شدن خود و خانواده خود، خدمات پزشکی و از دست دادن روزهای کاری را متحمل می‌شوند (Balali & Mohammadi, 20212019; Sookhtanlou & Allahyari,).

تماس مستقیم با سموم شیمیایی و حشره‌کش‌ها، موجب عوارض مزمن شده و در طولانی‌مدت انسان را به بیماری‌های متعددی مبتلا می‌کند. استفاده از سموم و آفت‌کش‌ها روی زنان باردار و جنین تأثیرات جبران‌ناپذیری را دارد. هر ساله سه میلیون نفر در جهان با سموم مختلف مسموم می‌شوند که ۲۰۰ هزار نفر آن‌ها جان خود را از دست می‌دهند (Barzegar, 2019). در دو دهه گذشته، روش‌های متعددی برای ارزیابی خطرات آفت‌کش‌ها معرفی شده است. روش‌ها معمولاً کیفی یا نیمه‌کمّی هستند و شامل رتبه‌بندی و وزن خطر، سمیّت و عوامل مواجهه با مواد فعال آفت‌کش می‌شوند. مقایسه خطرات بین آفت‌کش‌ها برای تصمیم‌گیرندگان مفید است. این مقایسه‌ها علاوه‌بر ارزیابی خطر آفت‌کش‌های خاص، برای سازمان-های نظارتی مانند آژانس نظارتی ایالت متحده آمریکا، مورد نیاز است.

بااین‌حال، اگر قرار است از طرح‌های رتبه‌بندی برای مقایسه خطرات ناشی از آفت‌کش‌ها استفاده شود، باید از نظر مفهومی و ریاضی درست باشند (Peterson & Schleier, 2014). روش رتبه‌بندی آفت‌کش‌ها یکی از روش‌های قابل کاربرد در این زمینه است که بر مبنای معادلات ساده جبری ایجاد شده‌اند. اعتبار اکثر این مدل‌های جبری به کامل و در دسترس بودن داده‌های ورودی وابسته می‌باشد. از جمله مدل‌های جبری که به‌منظور برآورد سمیت خطرات زیست‌محیطی سموم دفع آفات شیمیایی از آن‌ها استفاده می‌شود، می‌توان مدل‌های متکالف[1]، پوکر[2] و شاخص تأثیر زیست‌محیطی (EIQ)[3]را نام برد. روش EIQ اساساً یک معادله ریاضی است که تأثیر محیط زیستی را برای مواد فعال آفت‌کش‌ها براساس تبدیل مجموعه‌ای از اطلاعات فیزیکی- شیمیایی و سم‌شناسی، مانند سمیّت پوستی حاد، سمیّت برای پرندگان، اثرات درازمدت بر سلامتی و پتانسیل رواناب خاک، تعیین می‌کند (Peterson & Schleier, 2014).

در کالیفرنیا بیش از ۹۰ درصد از آفت‌کش مصرف‌شده در مزارع، مستعد بادبردگی هستند. بر این اساس، اندازه‌گیری آفت‌کش‌های مصرفی در گردوغبار فرش مربوط به ۸۹ ساکن کالیفرنیا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)[4]، همبستگی معنی‌داری با نزدیکی به مکان‌های کاربرد آفت‌کش‌های کشاورزی داشته است (Gunier et al., 2001). در تحقیقی با استفاده از روش آزمایشگاهی، میزان غلظت سموم کشاورزی در بافت عضله ماهیان ایستگاه‌های جنوب غربی دریای خزر (آستارا، هشتپر، انزلی، کیاشهر و رامسر) اندازه‌گیری شد. نتایج این آزمایش بیانگر آلودگی ماهیان دریای خزر به سموم کشاورزی بوده است (Vaezzadeh et al., 2008). گزارش مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی نشان می‌دهد که مصرف سموم کشاورزی در ایران بسیار بالا بوده و حدود دو برابر کشورهای اروپایی است (Norouzi & Shahbazi, 2011). اهمیت بالای اثر مخرب سموم موجب شده است که تلاش‌های زیادی در جهت کاهش مصرف سموم انجام بگیرد.

مقایسه اثرات محیط زیستی کاربرد آفت‌کش‌ها در نظام‌های سنتی، نیمه‌مکانیزه و مکانیزه تولید چغندرقند (*Beta vulgaris* L.)

1- Metcalf
2-Pesticide Occupational and Environmental Risk Indicator
3- Environmental Impact Quotient
4- Geographic Information System

در استان خراسان نشان داد که افزایش مکانیزاسیون منجر به افزایش آسیب‌های محیط زیستی مزارع می‌گردد؛ امّا در مقایسه با میزان تولید عملکرد مزارع، به‌ازای تولید یک تن عملکرد اقتصادی چغندرقند، میزان آسیب محیط زیستی مزارع مکانیزه ۳۳ درصد کم‌تر از مزارع سنتی بود (Bazrgar et al., 2013). در ارزیابی محیط زیستی سموم مصرفی در مزارع پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) استان گلستان مشخص شد که مصرف سموم، بیش‌ترین تأثیر را در بین سه مؤلفه اصلی شاخص EIQ، بر بخش بوم‌شناختی (شامل اجزای آبزیان، زنبورها، موجودات مفید و پرندگان) داشت. در بین حشره‌کش‌های مورد استفاده، پروفنفوس (کواکرون) و تیودیکارپ (لارویین) دارای بیش‌ترین اثر محیطی مزرعه‌ای بودند (Arefi et al., 2017). محققان گزارش کردند که در ایران، سه استان شمالی به‌ازای یک واحد تن محصول زراعی، بیشترین مخاطرات زیست‌محیطی را متقبل می‌شوند و بیشترین مخاطرات ناشی از مصرف حشره‌کش‌هاست (Moeinoddini et al., 2014).نتایج مطالعه‌ای در مزارع هشتگرد نشان داد که در میان حشره‌کش‌های مصرفی، سمیت بالقوه ایمیداکلوپراید (کنفیدور) و تأثیر محیطی مزرعه‌ای مالاتیون بیشتر است. همچنین بیشتربن خطر در هر سه جزء کارگران مزرعه، مصرف کننده و بوم‌شناختی مربوط به سم ایمیداکلوپراید بود که این سم به‌عنوان خطرناک‌ترین حشره‌کش‌عمده مصرفی مطرح شد (Yadollahi Nooshabadi et al., 2017). در پژوهشی، قارچ‌کش کاربندازیم پرمخاطره‌ترین سم مصرفی در بین سموم مورد استفاده در مزارع گندم(*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) در شهرستان مشهد شناخته شد. همچنین کمترین مقدار میانگین وزنی شاخص EIQ مزرعه‌ای در کاربرد علف‌کش‌ها و بیشترین مقدار این شاخص در کاربرد قارچ‌کش‌ها گزارش شد (Maleki et al., 2015).

در تحلیل ادراک از خطر سلامتی آفت‌کش‌های شیمیایی و استفاده از تجهیزات حفاظت فردی در میان کشاورزان ذرت‌کار استان اردبیل، نتایج نشان داد که علف‌کش توفوردی، خطرناک‌ترین آفت‌کش برای کشاورزان محسوب می‌شود (Sookhtanlou & Allahyari, 2021). در تحقیقی در دوره سه ساله در مناطق مدیترانه‌ای اروپا، از دو شاخص Ipest و EIQ در ارزیابی مخاطرات محیط‌زیستی استفاده کرده و سموم قارچ‌کش، علف‌کش و حشره‌کش‌های مصرفی گوجه‌فرنگی(*Solanum lycopersicum* L.) را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که قارچ‌کش‌ها در مقایسه با سایر آفت‌کش‌ها، اثرات منفی بیش‌تری بر سلامت انسان و محیط زیست داشته‌اند (Bues et al., 2004). در بررسی مخاطرات زیست‌محیطی تولید پنبه در منطقه آئگان در ترکیه، نقش اثرات بوم‌شناختی سموم مصرفی در شاخص EIQ از دو بخش کارگران مزرعه و مصرف‌کننده، بیش‌تر بوده است (Turgut & Erdogan, 2005).

بررسی و ارزیابی میزان اثر محیط زیستی آفت‌کش‌های مصرفی در کشت کلم‌چینی(*Brassica oleracea* var. alboglabra) در سامانه‌های GAP[1] و سامانه‌های زراعی رایج در شمال‌شرقی تایلند نشان داد که ۱۵ ماده فعال در سامانه GAP و ۱۹ ماده فعال در سامانه رایج وجود داشته است. در این مطالعه، میانگین اثر محیط زیستی مزارع GAP برابر با ۸۷/۴ و سامانه رایج ۱۳۶/۸۷ به دست آمده است، بنابراین کشت کلم چینی به‌روش GAP در مقایسه با سامانه رایج، میزان اثر محیط زیستی کم‌تری داشته است (Prasopsuk et al., 2020). در مطالعه دیگری، اثرات محیط زیستی آفت‌کش‌های مصرفی در کشت گل داوودی (*Chrysanthemum x morifolium*)در منطقه بالادست دریاچه هانگ ژانگ در شهر دالات چین ارزیابی شد. طبقه‌بندی EIQ-FUR مزارع در این مطالعه نشان داد که ۸/۲ درصد از مزارع اثر محیطی خیلی کم، ۴۸ درصد متوسط، ۳ درصد اثر محیطی زیاد و ۴۱ درصد مقدار خیلی زیاد برخوردار بودند (Thanh Thuan & Hang, 2023). در بررسی اثرات محیط زیستی آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع گندم شهرستان بندرترکمن مشخص شد که تعداد پنج مزرعه آبی گندم، EIQ-FUR بالاتر از ۲۵ داشته و به‌عنوان بوم‌نظام‌هایی با اثر محیط زیستی متوسط شناخته شدند (Niazmoradi et al., 2024). ارزیابی اثرات کاربرد آفت‌کش‌ها در میان مزارع کاکائو (*Theobroma cacao* L.) در منطقه غرب کشور غنا نشان داد که استفاده از مس هیدروکسید، ایمیداکلوپراید (کونفیدور) و استامی‌پراید در منطقه مطالعاتی، خطرات زیادی برای محیط زیست به‌خصوص برای حشرات و گرده‌افشان‌ها ایجاد می‌کند (Ansah, 2019).

بررسی نتایج مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهد که استفاده از روش EIQ می‌تواند به‌عنوان یک معیار کمّی به کشاورزان و سیاست‌گذاران بخش کشاورزی کمک کند تا بتوانند مقایسات مختلف را انجام داده و آفت‌کش‌هایی را در نظام تولید خود بگنجانند که ضمن داشتن میزان آسیب محیط زیستی کم‌تر، بیش‌ترین میزان تولید را در

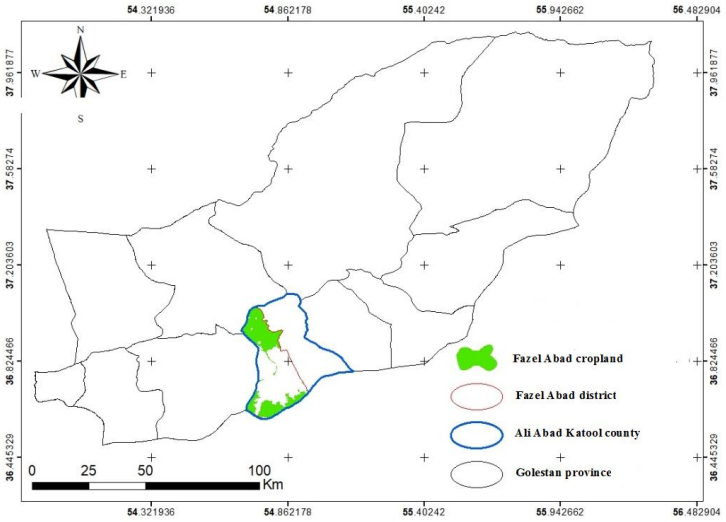
1-Good Agricultural Practice

واحد سطح داشته باشند و جایگزین آفت‌کش‌های پرخطر و با سمیت بالا گردند. در بیش‌تر نقاط استان گلستان و به‌خصوص شهرستان علی‌آبادکتول به‌علت بالا بودن میزان بارندگی و هوای مرطوب در بیش‌تر اوقات سال، شرایط برای تشدید وقوع خسارت آفات و عوامل بیماری‌زا فراهم است. از طرفی، با توجه به تنوع محصولات کشاورزی، نظام کشت فشرده و زیرکشت بودن زمین‌های کشاورزی در تمام طول سال، میزان مصرف سموم کشاورزی در سطح مزارع مورد مطالعه بالا است. بنابراین هدف این مطالعه، تعیین وضعیت اثرات زیست‌محیطی سموم مصرفی در زراعت گیاهان کلزا (*Brassica napus* L.)، چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) و سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول (استان گلستان) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در بخش فاضل‌آباد در شهرستان علی‌آبادکتول در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ انجام شد. بخش فاضل‌آباد با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و در ارتفاع نسبی ۲۰۰ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد. این منطقه از بخش‌های شهرستان علی‌آبادکتول در استان گلستان بوده و همسایگان این منطقه از غرب به شهرستان گرگان، از شرق به شهرستان علی‌آبادکتول، از شمال به شهرستان آق‌قلا و از جنوب به استان سمنان منتهی می‌شود (شکل ۱). محصولات عمده این منطقه شامل گندم، جو، کلزا، نخودفرنگی، باقلا، سویا، برنج، ذرت، پنبه، سیب‌زمینی و چغندرقند است. مجموع سطح زیرکشت محصولات پاییزه مورد بررسی در این منطقه در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، ۱۴۶۰۰ هکتار بود که در این سطح ۱۳۵۵ هکتار کلزای آبی، ۲۹۸/۴ هکتار کلزای دیم، ۴۱۱ هکتار سیب‌زمینی آبی و ۹۰ هکتار چغندرقند آبی کشت شده بود (Fazel Abad Agricultural Service Center, 2022).



شکل ۱- موقعیت اراضی کشاورزی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 1- The location of agricultural lands of Fazel Abad district of Ali Abad Katool county, Golestan province

جمع‌آوری داده‌ها

در این مطالعه، تعداد ۲۱ مزرعه کلزا، شش مزرعه سیب‌زمینی و پنج مزرعه چغندرقند با پراکندگی یکنواخت در جهات مختلف جغرافیایی منطقه جهت ارزیابی تأثیر زیست‌محیطی سموم مصرفی آن‌ها انتخاب و موقعیت آن‌ها با استفاده از دستگاه GPS ثبت شد. اطلاعات و داده‌های مربوط به کلیه آفت‌کش‌های مصرفی در این مزارع از جمله سموم قارچ‌کش، علف‌کش و حشره‌کش (براساس نوع سم، دفعات سم‌پاشی و غلظت ماده مؤثره) و همچنین میزان عملکرد اقتصادی محصول، مساحت مزارع و نوع نظام کشت، از طریق پایش مستمر، مصاحبه چهره‌به‌چهره با کشاورزان و مدیران مزرعه گردآوری

و برای محاسبات شاخص در نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ ثبت شد (جدول‌های ۱ و ۲).

جدول ۱- مشخصات مزارع کلزا، سیب‌زمینی و چغندرقند بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Table 1- Characteristics of canola, potato and sugar beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

محصول Crop	شماره مزرعه Field number	مختصات UTM Coordinate X	Y	مساحت Area (ha)	نظام System	تعداد سم‌پاشی Number of sprays	عملکرد Yield (ton.ha^{-1})
کلزا Canola	1	295137	4092573	6	1	3	2.9
	2	300581	4088272	8	1	3	2.2
	3	301465	4089015	5	1	1	2.5
	4	299916	4088809	3	1	4	2.1
	5	302039	4087783	8	1	3	2.5
	6	299997	4087238	2	1	2	2.0
	7	300181	4087338	3	1	2	2.6
	8	294522	4093715	1	2	1	1.5
	9	298723	4098763	3	2	2	1.7
	10	293678	4098678	2	2	2	1.8
	11	293748	4099630	3	2	2	1.4
	12	297537	3087018	10	1	4	2.7
	13	295825	4098756	2	2	4	1.5
	14	302203	4093146	1	1	3	2.9
	15	299231	4093464	1	1	3	1.8
	16	302589	4083643	3	1	5	3.7
	17	295052	4090813	2	1	3	2.6
	18	303257	4087851	2	1	1	2.0
	19	297428	4095225	2	1	2	2.4
	20	302534	4085716	2	1	3	2.2
	21	295975	4089699	2	1	1	1.5
سیب‌زمینی Potato	1	297905	4096026	12	1	4	30
	2	301585	4085060	2	1	4	40
	3	298311	4088557	8	1	4	28
	4	298590	4089752	43	1	4	30
	5	300900	4086500	9	1	3	40
	6	299605	4094886	1	1	3	28
چغندرقند Sugar beet	1	302409	4084450	12	1	4	50
	2	296766	4089981	2	1	6	60
	3	297513	4089929	12	1	2	50
	4	302223	4088009	5	1	2	40
	5	297315	4101154	40	1	3	70

۱: نظام آبی و ۲: دیم

1: Irrigated, 2: Rainfed

محاسبه شاخص‌های EIQ و EIQ-FUR

ارزیابی مخاطرات محیط زیستی آفت‌کش‌ها در زراعت گیاهان مورد بررسی در این مطالعه، با استفاده از روش EIQ انجام شد. مقدار عددی این شاخص، میانگین سه جزء اصلی آسیب است (معادله ۱). اجزای تشکیل‌دهنده این شاخص شامل آسیب بالقوه برای سلامت کارگران مزرعه (معادله ۲)، آسیب به مصرف‌کنندگان از طریق اثر مستقیم مواد سمی باقی‌مانده در محصولات غذایی و یا از طریق آلودگی آب‌های زیرزمینی (معادله ۳) و اثرات منفی بالقوه برای محیط زیست شامل موجودات زنده آبزی و خشکی‌زی (معادله ۴) را نشان می‌دهد (Kovach et al., 1992). بدین ترتیب، مدل EIQ مجموعه اطلاعات اثرات محیط زیستی مصرف آفت‌کش است که به‌صورت یک عدد از طریق معادله جبری ارائه‌شده در زیر محاسبه می‌گردد (معادله ۵) (Bazregar et al., 2013; Kovach et al., 1992; Gios et al., 2022).

$$EIQi = (X_1 + X_2 + X_3) /3 \quad \text{معادله (۱)}$$

$$X1= C [(DT\times5) + (DT*P)] \quad \text{معادله (۲)}$$

معادله (۳) $X2 = [(C\times P\times SY) + (L)]$

معادله (۴) $X3 = [(F\times P) + (T\times P\times 5) + (Z\times P\times 3)]$

معادله (۵)

$$EIQi = \{C [(DT\times 5)+(DT\times P)]+[(C\times P\times SY)+(L)]+[(F\times P)+(T\times P\times 5)+(Z\times P\times 3)]\}/3$$

در این معادله‌ها، I: آفت‌کش مصرفی،DT: سمیّت پوستی، C: سمیّت مزمن، SY: سیستمیک بودن، F: سمیّت برای ماهی‌ها، L: پتانسیل آب‌شویی، R: پتانسیل تلفات سطحی، D: سمیّت برای پرندگان، S: نیمه عمر خاک، Z: سمیّت برای زنبورعسل، B: سمیّت برای بندپایان سودمند و P: نیمه عمر در سطح گیاه است (Kovach et al., 1992).

جدول ۲- فهرست آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Table 2- List of pesticides used in fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

محصول Crop	نام آفت‌کش Pesticide name	شماره مزرعه Field number	نام آفت‌کش Pesticide name	شماره مزرعه Field number
کلزا Canola	کربوکسین تیرام Carboxin Tiram	تمامی مزارع All fields	گائوچو Gaucho	3, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15
	فولیکور Folicur	1, 4, 5, 7, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 19	گالانت‌سوپر Gallant Super	1, 2, 4, 5, 7, 8, 14
	سلکت‌سوپر Select Super	3, 9, 10, 12, 13, 16, 20, 21	بیسکایا Byscaya	2, 4, 5, 6
	توپسین ام Topsin M	2, 3, 4, 9, 13, 20	دیازینون Diazinon	12, 16, 17, 20
	مالاتیون Malathion	14, 18, 19	لونترال Lontrel	12, 15
	آلتوکمبی Altocombi	13	سایپرمترین Cypermethrin	15
	تیلت Tilt	20	دورسبان Dursban	8
	فوکوس Focus	11	کونفیدور Confidor	3
	زولون Zolone	6		
چغندرقند Sugar beet	کربوکسین تیرام Carboxin Tiram	تمامی مزارع All fields	سلکت‌سوپر Select Super	1, 2, 3, 5
	کونفیدور Confidor	1, 3, 4	ریدومیل Ridomil	2, 4
	دسیس Decis	2	سایپرمترین Cypermethrin	2
	دورسبان Dursban	5	دیازینون Diazinon	1
	بتانال پروگرس Betanal Progress	4	فوزیلید فورته Fusilade Forte	1
	توپاس Topas	5		
سیب‌زمینی Potato	پاراکوات Paraquat	1, 2, 4, 5, 6	دورسبان Dursban	1, 2, 3, 4, 5
	مانکوزب Mancozeb	1, 4, 5, 6	ریدومیل Ridomil	1, 2, 3
	دیازینون Diazinon	1	الیت Alite	3
	ترفلان Treflan	3	رورال‌تی‌اس Revral-TS	2

شاخص EIQ مربوط به هر یک از سموم شیمیایی (با توجه به در دسترس بودن داده‌های معادله‌ها) ثابت بوده و طی تحقیقات و آزمایش‌ها در منابع مختلف به دست می‌آیند. برآورد حدود ۳۲۲ آفت‌کش با استفاده از مدل EIQ در وبگاه http://www.nysipm.cornell.edu/publication/eiq/files/EIQ_values04.pdf قابلدسترس می‌باشد (Ramezani, 2013).

جدول ۳- اجزای شاخص محیط زیستی (EIQ) برای آفت‌کش‌های مصرفی در محصولات کلزا، سیب‌زمینی و چغندرقند بخش فاضل‌آباد شهر علی‌آباد کتول، استان گلستان

Table 3- Components of Environmental Impact Quotient (EIQ) for pesticides used canola, potato and sugar beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

رده Class	نام تجاری Commerical name	نام عمومی Common name	اجزای شاخص تأثیر محیط زیستی Components of pesticide environmental impact quotient			EIQ value
			کارگر مزرعه Farm worker	مصرف کننده Consumer	بوم شناختی Ecological	
علف‌کش Herbicide	گالانت‌سوپر Gallant Super	هالوکسی‌فوپ–آر متیل‌استر Haloxy Fop – R Methyl Ester	13.98	4.86	69.00	29.28
	سلکت‌سوپر Select Super	کلتودیم ۱۲ ٪ Clethodim 12 %	12.00	8.00	31.00	17.00
	لونترال Lontrel	کلوپیرالید Clopyralid	8.00	8.00	38.35	18.12
	فوکوس Focus	سیکلوکسیدیم Cycloxydim	11.50	4.77	48.01	21.44
	بتانال پروگرس Betanal Progress	فن مدیفام+ دس مدیفام+ اتوفومازیت Fen Medifam + Des Medifam + Autofomazit	7.10	2.55	43.59	17.75
	فوزیلید فورته Fusilade Forte	فلوآزیفوپ پی‌بوتیل Fluazifop-P-Butyl	10.65	3.32	72.15	28.71
	پاراکوات Paraquat	گراماکسون Gramaxone	31.95	6.63	35.91	24.73
	ترفلان Treflan	تری‌فلورالین Trifluralin	9.00	5.50	42.00	18.83
حشره‌کش Insecticide	بازودین Basudin	دیازینون Diazinon	6.90	2.45	120.85	43.40
	دورسبان Dursban	کلرپیریفوس Chlorpyrifos	18.00	4.00	108.55	43.50
	دسیس Decis	دلتامترین Deltamethrin	6.00	3.00	68.15	25.70
	سایپرمترین Cypermethrin	سایپرمترین Cypermethrin	9.00	4.00	69.00	27.30
	کونفیدور Confidor	ایمیداکلوپراید ۳۵ ٪ Imidaclopride 35 %	6.90	10.35	87.47	34.90
	بیسکایا Byscaya	تیاکلوپراید Thiacloprid 24 %	16.00	13.00	65.00	31.33
	گائوچو Gaucho	ایمیداکلوپراید ۷۰ ٪ Imidaclopride 70 %	6.90	10.35	87.47	34.90
	زولون Zolone	فوزالن Phosalone	37.50	2.75	58.25	32.80

	مالاتیون Malathion	مالاتیون Malathion	9.00	4.50	58.00	23.83	
قارچ‌کش Fungicide	فولیکور Folicur	تبوکونازول ۲۵٪ Tebuconazole 25%	20.00	31.00	70.00	40.30	
	آلتوکمبی Altocombi	سایپرکونازول + کاربندازیم Cyproconazole+ Carbendazim	20.12	29.44	89.64	46.40	
	تیلت Tilt	پروپیکونازول Propiconazole	8.10	15.15	59.28	27.51	
	ویتاواکس تیرام Vitavax thiram	کربوکسین تیرام Carboxin Tiram	9.25	4.25	25.83	13.12	
	الیت Alite	فوزتیل آلومینیم Fosetyl aluminium	6.00	4.00	26.00	12.00	
	توپاس Topas	پنکونازول Penconazole	12.00	13.00	45.00	22.23	
	ریدومیل Ridomil	متالاکسیل Metalaxyl	8.10	12.15	36.95	19.07	
	توپسین‌ام Topsin M	تیوفانات متیل Thiophanate-Methyl	16.20	15.30	39.95	23.82	
	مانکوزب Mancozeb	مانکوزب Mancozeb	20.25	8.13	48.79	25.72	
	روورال‌تی‌اس Revral-TS	ایپرودیون Iprodione	16.20	9.10	47.45	24.25	18.31
		کاربندازیم Carbendazim	20.00	31.00	117.50	56.17	

در این مطالعه، اعداد مربوط به اثر محیط زیستی آفت‌کش‌های مصرفی از آخرین نسخه به‌روزرسانی‌شده مربوط به این سایت در سال ۲۰۲۳ و همچنین منابع علمی استفاده شد (Niazmoradi et al., 2018; Hoseini, 2024) (جدول ۳).

با توجه به اینکه خطر محیطی یک آفت‌کش تابعی از میزان سمیّت آن و مقداری است که در تماس با محیط، جاندار و یا انسان قرار می‌گیرد، بنابراین برای کمّی کردن اثرات محیطی سموم آفت‌کش در مزارع، پس از محاسبه شاخص تأثیر محیط زیستی (اثر بالقوه)، میزان اثر محیطی هر آفت‌کش در واحد هکتار (EIQ-FUR)، با توجه به میزان مصرف و ماده مؤثره محاسبه و آفت‌کش‌های پرخطر برای سلامت انسان و محیط زیست شناسایی گردید (Moinoddini et al., 2014). برای اندازه‌گیری میزان شاخص محیط زیستی یک سم در واحد سطح (هکتار) در یک مزرعه، از حاصل‌ضرب مقادیر EIQ در میزان ماده مؤثره هر آفت‌کش و مقدار مصرف آفت‌کش در مزرعه استفاده شد. در نهایت، مقادیر EIQ-FUR برای هر آفت‌کش به‌کاررفته در هر مزرعه، برای تعیین اثر محیط زیستی تولید هر محصول در مدیریت آفات، جمع زده شدند (معادله ۶).

معادله (۶)

$$EIQ_{FUR} = EIQ \times \%\ active\ ingredient \times RA$$

که در آن، EIQ-FUR: اثر محیط زیستی در واحد هکتار، EIQ: شاخص تأثیر محیط زیستی آفت‌کش، RA: میزان مصرف آفت‌کش در واحد هکتار در مزرعه و ai: درصد ماده مؤثره آفت‌کش است.

تحلیل مکانی EIQ-FUR

به‌منظور ترسیم نقشه EIQ در زراعت گیاهان زراعی مورد بررسی در شهرستان، ابتدا یک پایگاه اطلاعاتی شامل مختصات مکانی ثبت شده هر مزرعه و مقدار عددی شاخص در صفحه Excel نسخه ۲۰۱۶ ایجاد شد. سپس لایه‌های کاربری اراضی کشاورزی و مرز شهرستان در نرم‌افزار ArcGIS در محیط ArcMap نسخه ۱۰/۸ فراخوانی و شاخص اثر محیط زیستی آفت‌کش‌ها برای هر محصول با استفاده از روش شبکه‌بندی تیسن[1]، به‌صورت نقشه خروجی گرفته شد. طبقه‌بندی مقادیر مختلف EIQ-FUR در این مطالعه، براساس کلاس‌بندی سایت دانشگاه کورنل انجام گردید (Kovach et al., 1992). بدین صورت، مقادیر EIQ-FUR زیر ۲۵ در طبقه خیلی کم، ۵۰-۲۵

1- Thiessen

در طبقه کم، ۱۰۰–۵۰ در طبقه متوسط، ۱۵۰–۱۰۰ در طبقه زیاد و بیش از ۱۵۰ در طبقه خیلی زیاد قرار گرفتند (Kovach et al., 1992).

رابطه بین عملکرد و EIQ-FUR

به‌منظور بررسی رابطه بین استفاده از سموم شیمیایی و اثر آن بر میزان عملکرد گیاهان مورد مطالعه، از معادله‌های رگرسیونی بین EIQ-FUR و عملکرد گیاهان استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده‌های مورد بررسی جهت یافتن این معادله، با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

نتایج و بحث

کلزا: در منطقه مورد مطالعه ۷۶/۱۹ درصد از مزارع کلزای مورد مطالعه، به‌صورت آبی و ۲۳/۸۱ درصد به‌صورت دیم کشت شده بودند. مساحت این مزارع از یک تا ۱۰ هکتار متغیر بود و دامنه عملکردی معادل ۳/۷– ۱/۵ تن در هکتار داشتند (جدول ۱). در این مطالعه، ۱۸ آفت‌کش در مزارع کلزای منطقه ثبت شد. از این تعداد سموم، ۲۲/۲۲ درصد علف‌کش‌ها، ۳۳/۳۳ درصد قارچ‌کش‌ها و ۴۴/۴۵ درصد را حشره‌کش‌ها تشکیل دادند (شکل ۲). یولاف وحشی (*Avena* spp.) و علف‌خونی (*Phalaris* spp.) از گیاهان هرز باریک‌برگ شایع در مزارع کلزای منطقه مطالعاتی بودند که جهت مدیریت آن‌ها، کشاورزان از علف‌کش‌های سلکت‌سوپر (کلتودیم)، گالانت سوپر (هالوکسی‌فوپ‌آرمتیل‌استر) و فوکوس (سیکلوکسیدیم) استفاده می‌کردند. علف‌کش‌های سلکت‌سوپر (۰/۷ تا ۱ لیتر در هکتار) و گالانت سوپر (یک تا دو لیتر در هکتار) در هشت و هفت مزرعه یا به عبارتی در ۳۸/۰۹ و ۳۳/۳۳ درصد از مزارع مصرف شده بودند. همچنین جهت مهار علف‌های هرز پهن‌برگ کلزا از جمله خردل‌وحشی (*Sinpisarvensis*)، شلمی (*Rapistrum rugosum*)، پیچک‌صحرایی (*Convolvulus arvensis*) و کنگر وحشی (*Cirsium arvense*) از علف‌کش لونترال (کلوپیرالید) به‌میزان ۰/۸ تا ۲ لیتر در هکتار در دو مزرعه استفاده شده بود (شکل ۲). بررسی علف‌کش‌های مورد استفاده نشان داد که شیوع گیاهان هرز باریک‌برگ در مزارع کلزا بیش‌تر از گیاهان هرز پهن‌برگ مشکل‌ساز است.

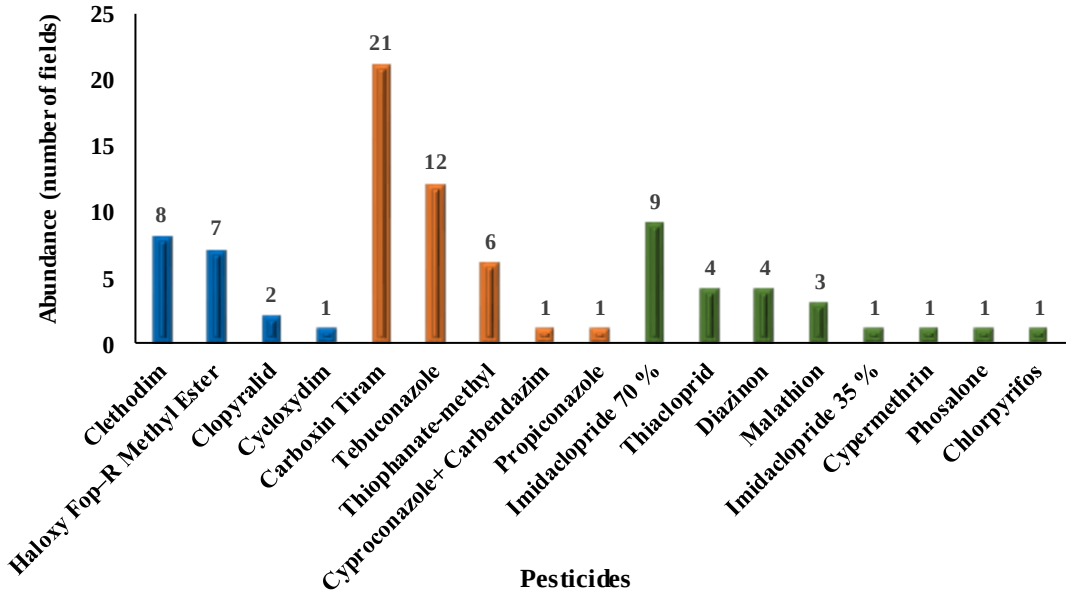
قارچ‌کش کربوکسین تیرام (ویتاواکس ۷۵ درصد) به‌دلیل بذرمال شدن بذور گواهی‌شده با آن و کاربرد این بذور در تمامی مزارع مورد مطالعه، بالاترین فراوانی مصرف در میان آفت‌کش‌های مورد استفاده در مزارع کلزا را داشتند. این قارچ‌کش سیستمیک بوده و بذور را از حمله بیماری‌های قارچی و حتی جوندگان و حشرات محافظت می‌کند. به‌دلیل بارندگی و رطوبت بالای منطقه در سال مورد مطالعه، توجه کشاورزان به استفاده و تنوع بخشیدن به سموم قارچ‌کش بیش‌تر از آفت‌کش‌های دیگر بود. بیماری‌های قارچی شایع در منطقه، فوما یا ساق سیاه (*Phomalingam*) و اسکلروتینیایی ساقه (*Sclerotina sclerotiorum*) است که در طی این تحقیق جهت مهار آن‌ها از قارچ‌کش‌های فولیکور یا تبوکونازول (۰/۵ تا ۱ لیتر در هکتار)، توپسین‌ام (تیوفانات متیل) (۰/۵ تا ۰/۶ لیتر در هکتار)، آلتوکمبی (سایپروکونازول + کاربندازیم)، تیلت (پروپیکونازول) استفاده می‌گردید (شکل ۲).

یکی از روش‌های کنترل مدیریتی آفات اوایل فصل رشد کلزا، مخصوصاً کک‌های نباتی (*Psylliodes chrysocephala*)، ضدعفونی بذر با سموم سیستمیک می‌باشد که تا حدود ۷ تا ۲۱ روز پس از سبز شدن، مهار این آفت را تأمین می‌کند (Kihanian et al., 2023). برای مهار این آفت در ابتدای فصل رشد کلزا در منطقه، از حشره‌کش گائوچو (ایمیداکلوپراید ۷۰ درصد) به‌میزان ۸۴ تا ۱۱۲ گرم در هکتار استفاده شده بود. برای مهار سایر آفات در طول دوره رشد از جمله سوسک گرده خوار سیاه (*Oxythyre acinctella*)، سوسک گرده‌خوار بور (*Epicometis hirta*) و کرم برگ‌خوار (*Sopdoptera* spp.) از حشره‌کش‌های بیسکایا (تیاکلوپراید) (۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌لیتر در هکتار) در چهار مزرعه، دیازینون (یک تا دو لیتر در هکتار) در چهار مزرعه، مالاتیون (یک لیتر در هکتار) در سه مزرعه، و حشره‌کش‌های کونفیدور یا ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد (۰/۵ لیتر در هکتار)، سایپرمترین (یک لیتر در هکتار)، فوزالن یا زولون (یک تا دو لیتر در هکتار) و دورسبان (کلروپیریفوس) (۱ تا ۱/۵ لیتر در هکتار) هرکدام در یک مزرعه استفاده شده بودند. به‌طور کلی، بیش‌ترین میزان مصرف آفت‌کش‌ها در مزارع کلزا به‌ترتیب مربوط به کربوکسین‌تیرام، فولیکور (تباکونازول) و گائوچو (ایمیداکلوپراید ۷۰ درصد) بود (شکل ۲).

شاخص EIQ

بررسی شاخص EIQ آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع کلزای منطقه مطالعاتی نشان داد که قارچ‌کش آلتوکمبی (سایپروکونازول +

کاربندازیم) با EIQ معادل ۴۶/۴، بالاترین میزان آسیب و سمیّت برای محیط زیست را در میان آفت‌کش‌های مورد استفاده داشت. حشره-کش‌های دورسبان (کلرپیریفوس) و دیازینون با EIQ برابر با ۴۳/۵ و ۴۳/۴ در رتبه دوم آفت‌کش‌های خطرناک و با سمیّت بالا در مزارع کلزا قرار گرفتند.

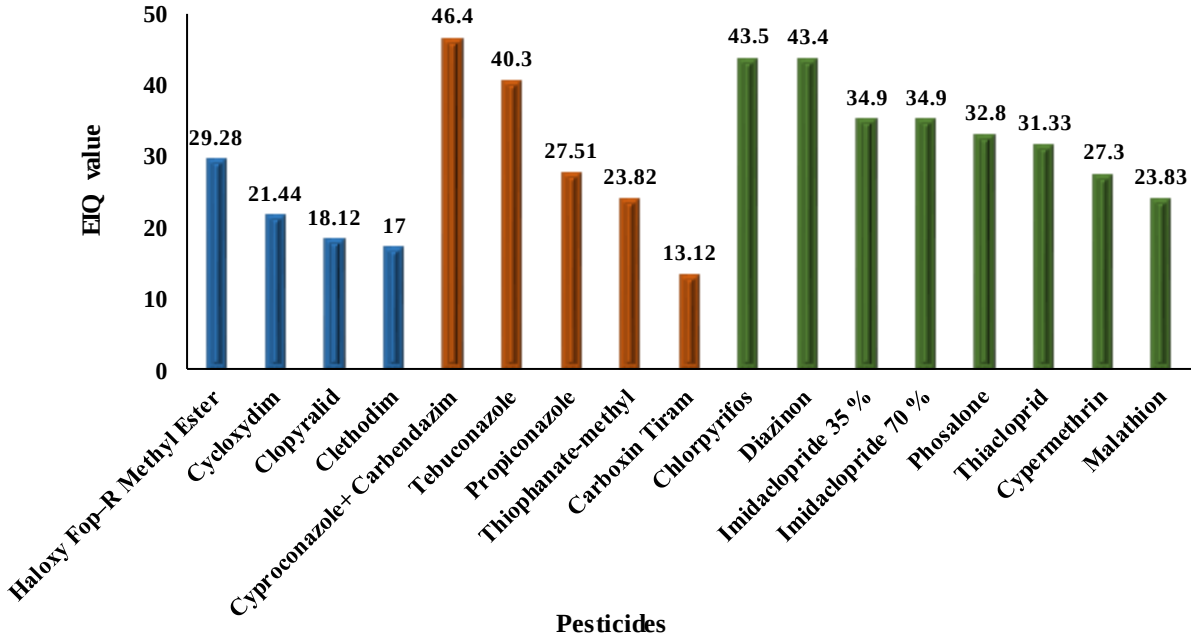


شکل ۲- توزیع فراوانی کاربرد آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع کلزا بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 2- Distribution of the abundance of pesticides used in canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

رتبه سوم آفت‌کش خطرناک به قارچ‌کش فولیکور (تبوکونازول) با EIQ ۴۰/۳ تعلق گرفت. در بررسی گروه‌های مختلف آفت‌کشی، سم گالانت سوپر (هالوکسی‌فوپ آرمتیل‌استر) با EIQ برابر با ۲۹/۲۸، سمیّت بالاتری نسبت به علف‌کش‌های مصرفی دیگر نشان داد. در میان قارچ‌کش‌های مصرفی، آلتوکمبی (سایپروکونازول + کاربندازیم)، فولیکور (تبوکونازول) و تیلت (پروپیکونازول) از قارچ‌کش‌های خطرناک شناخته شدند و قارچ‌کش بذرمال کربوکسین تیرام میزان سمیّت کم‌تری را نشان داد. در گروه حشره‌کش‌های مصرفی، دورسبان (کلرپیریفوس)، دیازینون، کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) و گائوچو (ایمیداکلوپراید ۷۰ درصد) به‌عنوان ترکیبات خطرناک در نظر گرفته شدند. کم‌ترین سمیّت در گروه حشره‌کش‌ها متعلق به سم مالاتیون بود که مقدار EIQ آن برابر با قارچ‌کش توپسین‌ام (تیوفانات متیل) به دست آمد (شکل ۳). در میان آفت‌کش‌های مصرفی مزارع کلزا، بالاترین میزان خطر و سمیّت برای کارگران مزرعه به حشره‌کش فوزالن با میزان آسیب ۳۷/۵ تعلق گرفت. همچنین قارچ‌کش‌های آلتوکمبی (سایپروکونازول + کاربندازیم) و فولیکور (تبوکونازول) در رتبه دوم سم پرخطر برای کارگران مزرعه کلزا در نظر گرفته شدند. بررسی میزان آسیب به کارگران مزرعه در گروه علف‌کش‌های مصرفی کلزا نشان داد که این گروه میزان آسیب متوسطی داشته و از میان آن‌ها گالانت‌سوپر (هالوکسی‌فوپ آرمتیل-استر) میزان آسیب بیش‌تری را نشان داده است. در گروه قارچ‌کش‌ها نیز آلتوکمبی (سایپروکونازول + کاربندازیم) در رتبه اول، فولیکور (تبوکونازول) در رتبه دوم و توپسین‌ام (تیوفانات متیل) در رتبه سوم سمیّت برای کارگران مزرعه قرار گرفتند. در گروه حشره‌کش‌های مصرفی مزارع کلزا نیز دورسبان (کلرپیریفوس) و بیسکایا (تیاکلوپراید) با میزان آسیب ۱۸ و ۱۶، پس از فوزالن در رتبه‌های دوم و سوم حشره‌کش‌های خطرناک برای کارگر مزرعه معرفی شدند (شکل ۴). بیش‌ترین میزان آسیب و خطر به جزء مصرف‌کننده و خطر آب‌شویی به منابع آب زیرزمینی و منابع آبی در میان سموم مصرفی در مزارع کلزا، متعلق به گروه قارچ‌کش‌ها بود، به¬طوری‌که قارچ‌کش فولیکور (تبوکونازول) با نمره ۳۱ در رتبه اول، آلتوکمبی (سایپروکونازول + کاربندازیم) (نمره ۲۹/۴) در رتبه بعدی و توپسین‌ام (تیوفانات متیل) و

تیلت (پروپیکونازول) (نمره ۱۵) در رتبه سوم قرار گرفتند. در این گروه، کربوکسین‌تیرام دارای کم‌ترین میزان سمیّت به مصرف‌کنندگان و خطر آب‌شویی در نظر گرفته شد. در گروه علف‌کش‌های مصرفی نیز سلکت‌سوپر (کلتودیم) و لونترال (کلوپیرالید) میزان آسیب مشابهی به این بخش نشان دادند. همچنین حشره‌کش‌های بیسکایا (تیاکلوپراید) بالاترین میزان آسیب (۱۳) و دیازینون (۲/۴) کم‌ترین میزان آسیب به مصرف‌کنندگان را دارا بودند (شکل ۵).



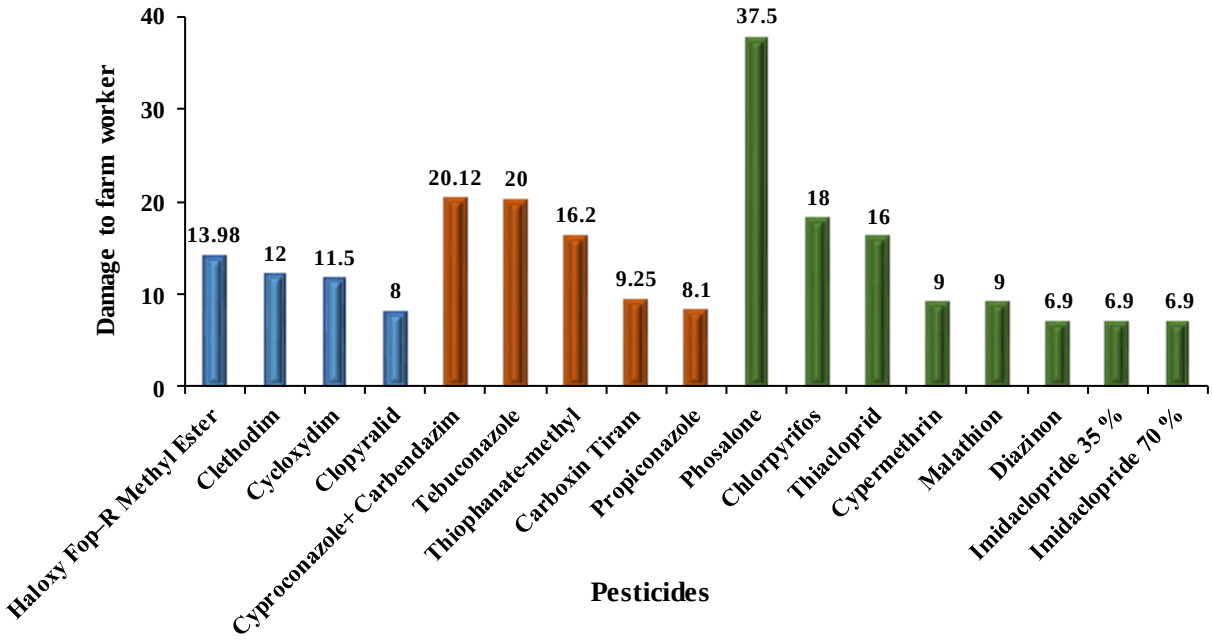
شکل ۳- مقادیر EIQ آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع کلزا بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 3- EIQ value of pesticides used in canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

بررسی میزان آسیب آفت‌کش‌های مصرفی کلزا بر اجزای بوم‌شناختی نشان داد که در مجموع، حشره‌کش‌ها بیش‌ترین آسیب را بر بخش بوم‌شناختی وارد می‌کنند که در این میان، حشره‌کش دیازینون با میزان ۱۲۰/۸ بالاترین سمیّت را بر اجزای محیط زیست داشت. حشره‌کش دورسبان (کلرپیریفوس) (۱۰۸/۵)، قارچ‌کش‌های آلتوکمبی (سایپروکونازول + کاربندازیم) و تیلت (پروپیکونازول) (۸۹)، حشره‌کش‌های کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) و گائوچو (ایمیداکلوپراید ۷۰ درصد) (۸۴/۴)، قارچ‌کش‌های فولیکور (تبوکونازول) (۷۰) به‌ترتیب در رتبه‌های دوم تا پنجم آفت‌کش‌های خطرناک بر بخش بوم‌شناختی معرفی شدند. کربوکسین‌تیرام از گروه قارچ‌کش‌های بذرمال و علف‌کش سلکت‌سوپر (کلتودیم) از میزان سمیّت کم‌تری برخوردار بودند (شکل ۶). ارزیابی اثرات محیط زیستی آفت‌کش‌های مورد استفاده در مزارع کلزا در شهرستان‌های گرگان و علی‌آبادکتول نشان داد که حشره‌کش پرمترین و قارچ‌کش کاربندازیم بیش‌ترین و علف‌کش‌های کلتودیم و کلوپرالید کم‌ترین میزان EIQ را در میان آفت‌کش‌های مصرفی داشتند. قارچ‌کش بنومیل بیش‌ترین و حشره‌کش‌های دیازینون و ایمیداکلوپراید کم‌ترین آسیب به کارگران مزرعه را نشان دادند. قارچ‌کش‌ها بیش‌ترین اثر را در جزء مصرف‌کنندگان و آب‌شویی داشتند. حشره‌کش پرمترین و علف‌کش پروپاکوئیزافوپ نیز بیش‌ترین آسیب بر اجزای بوم‌شناختی را در میان آفت‌کش‌های مصرفی دارا بودند (Hoseini, 2018).

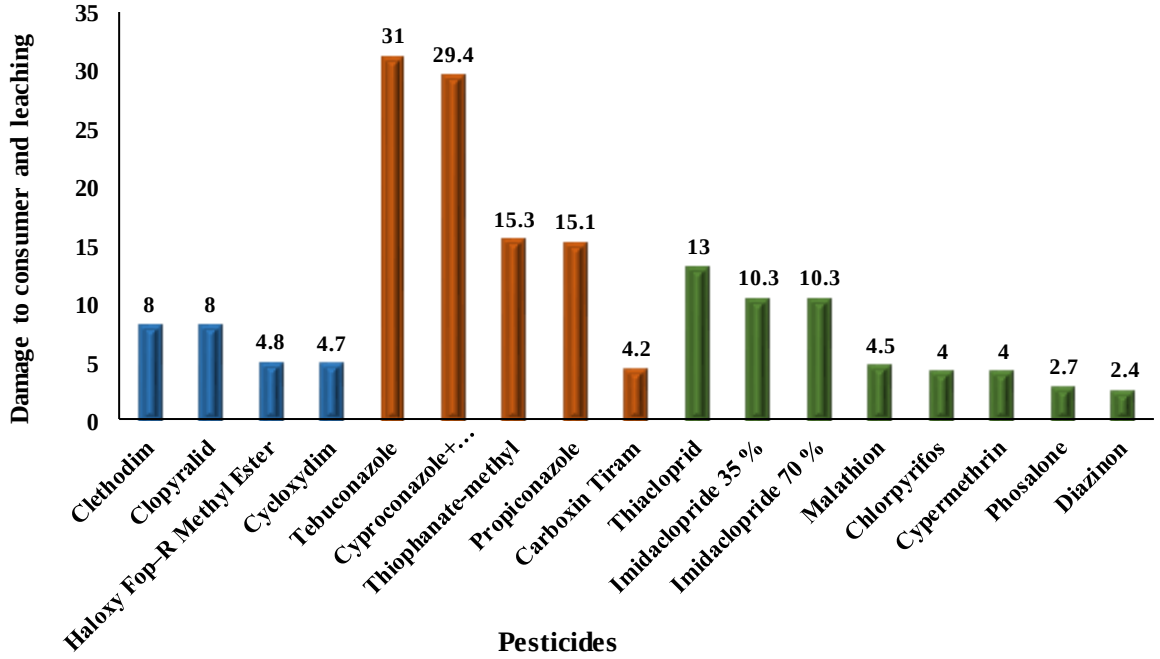
شاخص EIQ-FUR

ازآنجاکه میزان آسیب و سمیّت سموم آفت‌کش در محیط به مقدار مصرف آن در واحد هکتار بستگی دارد، بنابراین در شکل ۷ رابطه بین مقدار مصرف در مزرعه و میزان سمیّت آن در واحد هکتار بررسی شده است. مطابق این شکل، بیش‌ترین میزان مصرف آفت‌کش برابر با ۱/۵ لیتر در هکتار مربوط به حشره‌کش دورسبان (کلرپیریفوس) و علف‌کش سلکت‌سوپر (کلتودیم) بوده است که با مقایسه EIQ-FUR آن‌ها، مشخص می‌شود که حشره‌کش کلرپیریفوس بالاترین میزان سمیّت (۲۶/۷۵) را نسبت به کلتودیم (۳/۱۲) ایجاد می‌کند.



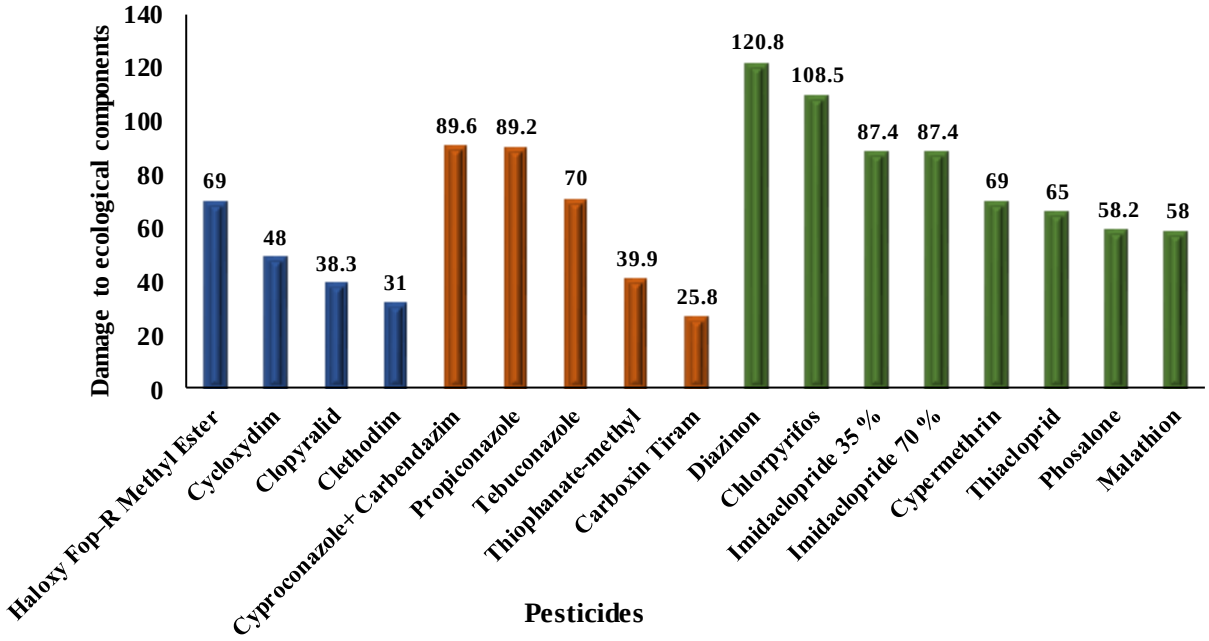
شکل ٤- میزان آسیب به کارگران مزرعه در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع کلزا بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 4- Damage to farm worker of pesticides used in canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



شکل ٥- میزان آسیب به مصرف‌کنندگان و آب‌شویی در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع کلزا بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 5- Damage to consumer and leaching of pesticides used in canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



شکل ٦- میزان آسیب به اجزای بوم‌شناختی در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع کلزا بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 6- Damage to ecological components of pesticides used in canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

این تفاوت ناشی از مقدار EIQ هر سم و مقدار ماده مؤثره آن‌ها می‌باشد. حشره‌کش دیازینون با اینکه به‌مقدار کم‌تر (۰/۸۷ لیتر در هکتار) استفاده شده، امّا در رتبه دوم سمیّت قرار گرفته است. مقدار ماده مؤثره (۰/۶ درصد) و EIQ بالای این سم منجر به سمیّت و خطر بالای آن شد. در صورت مصرف ۱/۵ لیتر از این سم در واحد هکتار، بیش‌ترین میزان سمیّت در میان آفت‌کش‌ها (۳۹/۰۶) به دست خواهد آمد. در بررسی اثرات محیط زیستی مصرف دو حشره‌کش ایمیداکلوپراید و دیازینون در محصول کلزا در منطقه هشتگرد، حشره‌کش دیازینون با میزان مصرف دو لیتر در هکتار و میزان ماده مؤثره ۶۰ درصد، سمیّت و خطر بیش‌تری (۴۱/۷۶) داشت (Yadollahi et al., 2017).

قارچ‌کش‌های توپسین‌ام (تیوفانات متیل) با مقدار مصرف یک لیتر و EIQ-FUR برابر ۱۶/۶۷ و فولیکور با متوسط میزان مصرف ۱/۳۹ و اثر محیط زیستی ۱۴، به‌ترتیب در رتبه‌های سوم و چهارم آفت‌کش‌های خطرناک در واحد هکتار مزارع کلزا شناخته شدند (شکل ۷). بنابر نتایج به‌دست آمده، توصیه می‌شود که میزان مصرف حشره‌کش‌های دورسبان (کلرپیریفوس) و دیازینون را کم‌تر در نظر گرفته شود، زیرا روند افزایشی مقادیر مصرف آفت‌کش‌ها، تکرار مصرف آن‌ها در سال‌های متوالی و عدم تناوب این آفت‌کش‌ها می‌تواند منجر به مقاومت آفات به این سموم شود. کم‌ترین میزان مصرف سموم و به تبع آن، پایین‌ترین اثر محیط زیستی در مزارع کلزا مربوط به سموم بذرمال کربوکسین‌تیرام و گائوچو (ایمیداکلوپراید ۷۰ درصد) می‌باشد که منجر به برآورد EIQ-FUR برابر با ۰/۱۱ و ۰/۳۱ در واحد هکتار شده است (شکل ۷).

نقشه EIQ-FUR

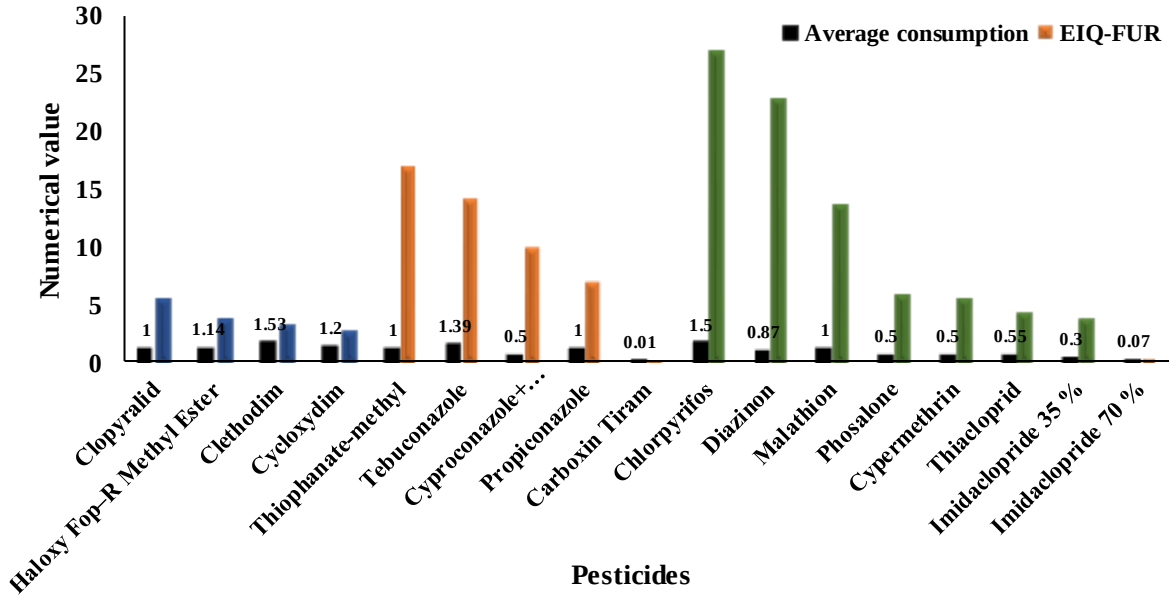
شکل ۸، پراکنش طبقات در مزارع کلزای منطقه نمونه‌برداری بخش فاضل‌آباد را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، ۵۷/۱۴ درصد از مزارع کلزا (۱۲ مزرعه) در سطح منطقه، اثر محیط زیستی کم‌تر از ۲۵ را داشته و در طبقه مزارعی با خطر آسیب خیلی کم در نظر گرفته شدند. در این مزارع از سمومی با سمیّت پایین‌تر، مقادیر کم‌تر و تنوع پایین‌تر آفت‌کش‌ها به کار برده شده است. همچنین ۳۸/۱ درصد از مزارع کلزا (هشت مزرعه) به‌دلیل استفاده از سمومی با سمیّت بیش‌تر از جمله آلتوکمبی (سیپروکونازول + کاربندازیم)، فولیکور (تبوکونازول)، توپسین‌ام (تیوفانات متیل)، مالاتیون و دیازینون و غیره (شکل ۸)، همچنین استفاده همزمان از چندین نوع قارچ‌کش و حشره‌کش و یا

کاربرد در دفعات و مقادیر مصرف بیش‌تر، در طبقه EIQ-FUR ۲۵–۵۰ و طبقه اثر محیط زیستی کم قرار گرفتند. تنها یک مزرعه در منطقه نمونه‌برداری در طبقه اثر محیط زیستی ۵۰–۱۰۰ درصد جای گرفت. مزرعه شماره ۱۲ به‌دلیل استفاده از حشره‌کش دیازینون به‌میزان یک لیتر در هکتار و کاربرد قارچ‌کش فولیکور (تبوکونازول) در دو نوبت و به‌میزان یک لیتر در هکتار که از جمله سموم با سمیّت بیش‌تر شناخته می‌شوند، در این طبقه قرار گرفت (جدول ۲ و شکل ۸).

رابطه شاخص EIQ-FUR و عملکرد کلزا

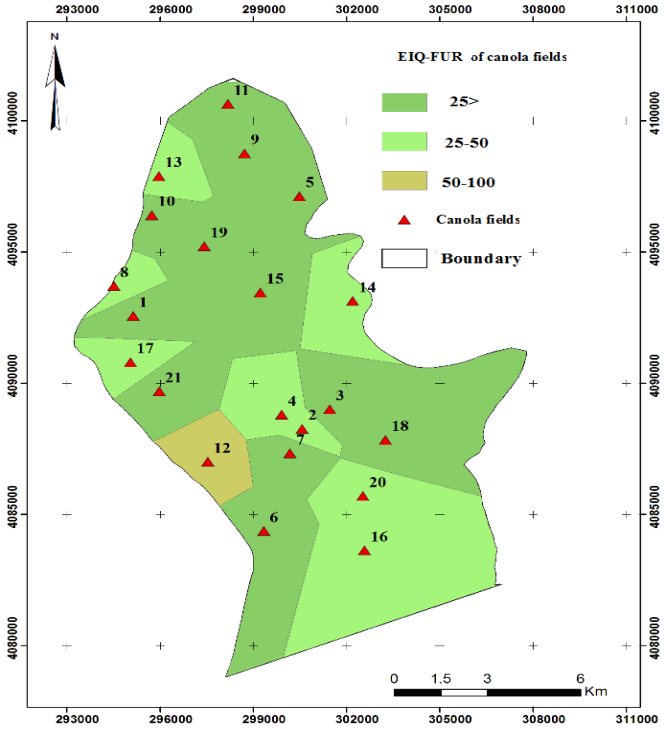
بررسی میزان اثر محیط زیستی آف‌کش‌های مصرفی و عملکرد تولیدی مزارع کلزای بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آباد کتول با توجه به پراکندگی نقاط اندازه‌گیری‌شده و پایین بودن ضریب همبستگی (R^2=۰/۲۹) بین این دو متغیر نشان داد که افزایش مصرف سموم شیمیایی با افزایش عملکرد، رابطه مستقیم و قوی نداشته است (شکل ۹). به عبارتی، باید سایر متغیرهای دیگر دخیل در عملکرد محصول زراعی، در کنار استفاده از سموم شیمیایی مورد توجه قرار گرفته و در مزرعه اعمال شوند. از دلایل و عوامل عدم ارتباط مستقیم بین عملکرد و میزان آفت‌کش‌های مصرفی می‌توان به عدم بازدید از مزارع جهت شناسایی حشرات آفت و گیاهان هرز، مصرف سموم بی‌کیفیت و تاریخ مصرف گذشته، مصرف در زمان و روش نادرست، فرسودگی و کارآیی پایین دستگاه‌های سم‌پاشی، سختی و یا اسیدیته نامطلوب آب مصرفی در سم‌پاشی، عدم تناوب در استفاده از سموم مختلف و سایر عملیات مدیریت زراعی از قبیل کوددهی، تنظیم تاریخ کاشت، اجرای تناوب زراعی، آبیاری، استفاده از رقم و ژنوتیپ‌های مناسب و غیره اشاره کرد.

چغندرقند: مزارع چغندرقند مورد مطالعه در منطقه با مساحت ۲–۴۰ هکتاری به‌صورت آبی مدیریت شدند. تناوب‌های گندم – آیش و باغ – آیش به اجرا در آمده و تولیدی در دامنه ۴۰ تا ۷۰ تن در هکتار به دست آمد. در مجموع، ۱۱ نوع آفت‌کش در مزارع چغندرقند مورد مطالعه استفاده شده است. در چهار مزرعه، از علف‌کش سلکت-سوپر (کلتودیم) به‌میزان ۱–۱/۵ لیتر در هکتار و یک مزرعه از علف‌کش فوزیلید فورته (فلوآزیفوپ‌پی‌بوتیل) به‌میزان ۱/۵ لیتر در هکتار جهت مهار گیاهان هرز باریک‌برگ از جمله یولاف وحشی و علف‌خونی به کار برده شده است. همچنین برای مهار گیاهان هرز پهن‌برگی همچون کنگر وحشی، پنیرک و خردل وحشی، از علف‌کش بتانال پروگرس (فن‌مدیفام + دس‌مدیفام + اوتوفومازیت) به‌میزان ۱/۵–۲ لیتر در هکتار مصرف شده است (شکل ۱۰).



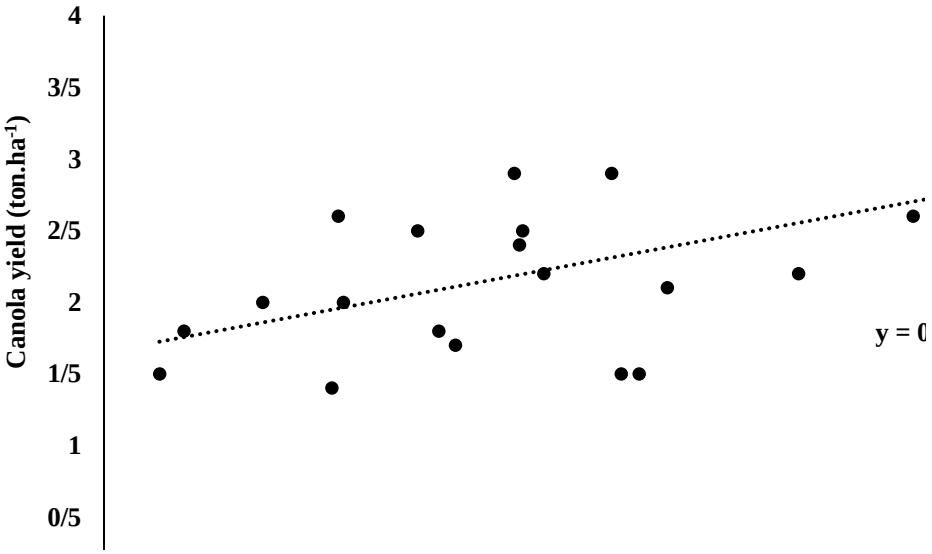
شکل ۷- متوسط میزان مصرف آفت‌کش‌های مصرفی و مقادیر EIQ-FUR محاسباتی در واحد هکتار مزارع کلزا بخش فاضل‌آباد شهرستان علی-آبادکتول، استان گلستان

Fig. 7- The average consumption of pesticides and EIQ-FUR values per hectare of canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



شکل ۸- طبقه‌بندی اثر محیط زیستی مزارع کلزا (EIQ-FUR) در بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 8- Classification of environmental impact (EIQ-FUR) of canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

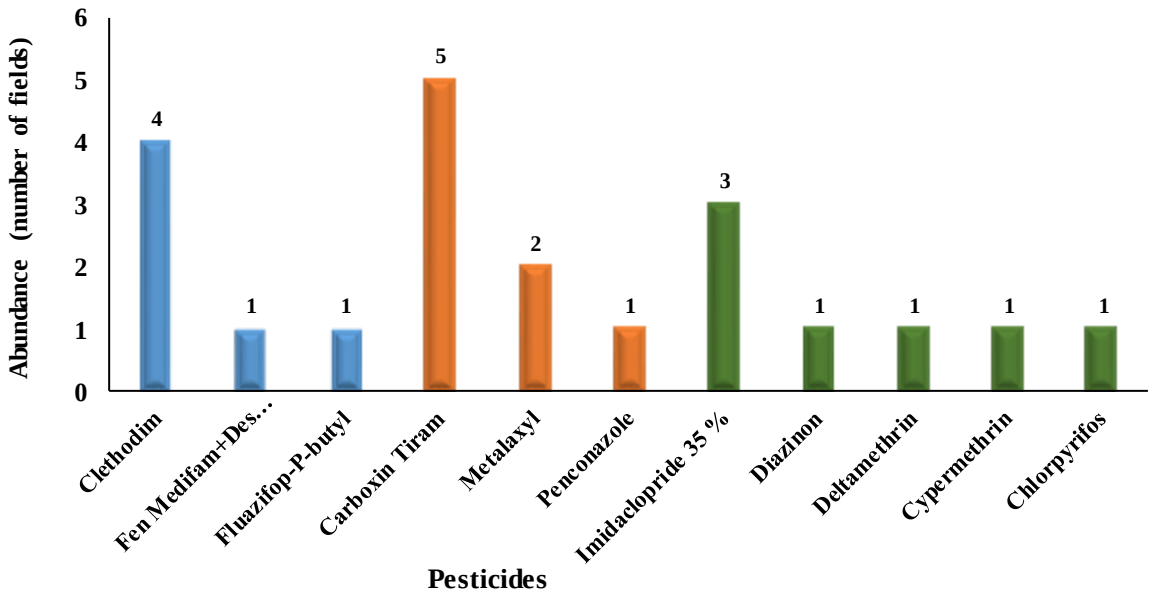


شکل ۹- رابطه EIQ-FUR با میزان عملکرد کلزا (تن در هکتار) در بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 9- The relationship between EIQ-FUR and canola yield in canola fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

مطابق شکل ۱۰، کربوکسین‌تیرام به‌عنوان قارچ‌کش ضدعفونی قبل از کاشت استفاده شده است. همچنین قارچ‌کش ریدومیل (متالاکسیل) به‌میزان ۱-۲ لیتر در هکتار و توپاس (پنکونازول) به‌میزان ۰/۵ لیتر در هکتار جهت مهار بیماری‌های قارچی از قبیل پوسیدگی غده، لکه برگی‌ها و فوزاریوم طوقه مصرف شده است. بیش‌ترین تنوع آفت‌کش‌های مصرف‌شده در این مزارع، مربوط به

گروه حشره‌کش‌ها بود، به‌طوری‌که سه مزرعه از حشره‌کش کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) به‌میزان یک لیتر در هکتار، حشره‌کش‌های دیازینون (۰/۷ لیتر در هکتار)، دسیس (دلتامرین) (یک لیتر در هکتار)، سایپرمترین (۰/۵ لیتر در هکتار) و دورسبان (کلرپیریفوس) (۱/۵ لیتر در هکتار) هرکدام در یک مزرعه به کار برده شدند.



شکل ۱۰- توزیع فراوانی کاربرد آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع چغندرقند بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 10- Distribution of the abundance of pesticides used in suger beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

شاخص EIQ

مقایسه شاخص EIQ آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع چغندرقند مورد مطالعه نشان داد که بیش‌ترین اثرات منفی محیط زیستی مربوط به گروه حشره‌کش‌های مصرفی بوده است. در این میان، حشره‌کش‌های دورسبان (کلرپیریفوس) و دیازینون با EIQ معادل ۴۳/۵ و ۴۳/۴ در رتبه اول و کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) اثر محیط زیستی برابر ۳۴/۹ در رتبه دوم سمیت و خطر قرار گرفتند. در گروه علف‌کش‌ها، فوزیلید فورته (فلوآزیفوپ‌پی‌بوتیل) با EIQ معادل ۲۸/۷۱ در رتبه سوم و حشره‌کش سایپرمترین به رتبه چهارم جای گرفت. در مجموع، آفت‌کش‌های مصرفی، قارچ‌کش کربوکسین‌تیرام دارای کم‌ترین میزان آسیب محیط زیستی شناخته شد (شکل ۱۱).

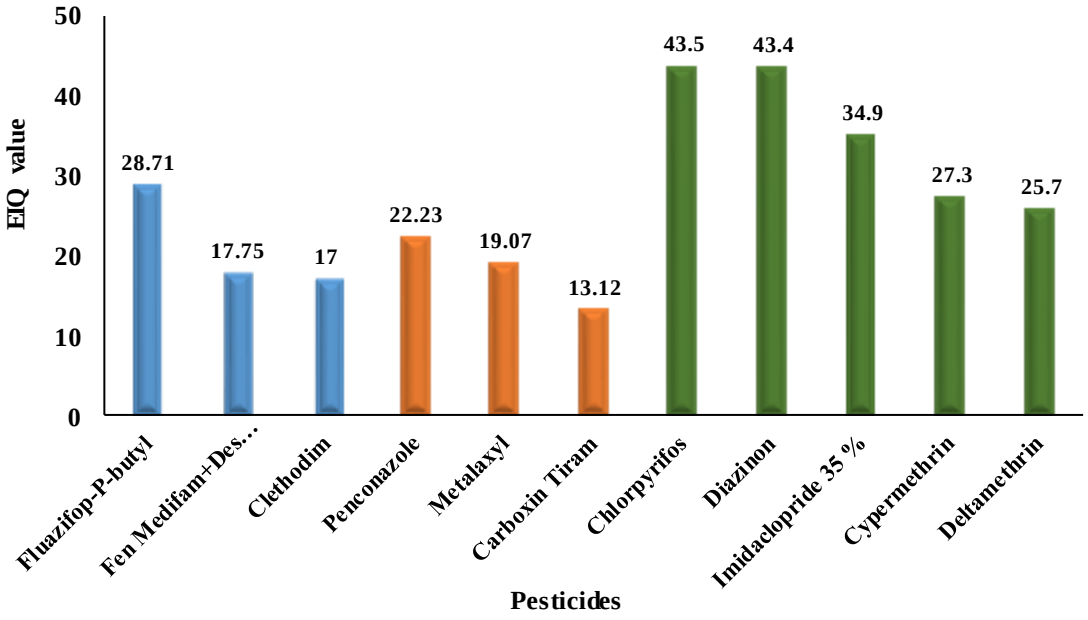
بررسی جزء آسیب به کارگران مزرعه در شاخص EIQ آفت‌کش‌های مصرفی مزارع چغندرقند نشان داد که بیش‌ترین آسیب و خطر برای کارگران مزرعه در سم‌پاشی حشره‌کش دورسبان (کلرپیریفوس) ایجاد شده است. این آفت‌کش با میزان آسیب به کارگر مزرعه معادل ۱۸ در رتبه اول، علف‌کش سلکت‌سوپر (کلتودیم) و قارچ‌کش توپاس (پنکونازول) با میزان سمیت ۱۲ در رتبه دوم و علف‌کش فوزیلید فورته (فلوآزیفوپ‌پی‌بوتیل) با میزان خطر ۱۰/۶۵ در رتبه سوم آسیب‌رسانی به کارگران مزرعه قرار گرفتند. همچنین در میان آفت‌کش‌های مورد بررسی، حشره‌کش دسیس (دلتامترین) کم‌ترین میزان خطر را برای این جزء شاخص EIQ نشان داد (شکل ۱۱).

شکل ۱۲، میزان سمیت آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع چغندرقند را بر جزء مصرف‌کننده و خطر آب‌شویی آن‌ها نشان می‌دهد. مطابق این شکل، قارچ‌کش‌های توپاس (پنکونازول)، ریدومیل (متالاکسیل) و حشره‌کش کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) با مقادیر آسیب ۱۳، ۱۲/۱۵ و ۱۰/۳۵ به‌ترتیب خطرناک‌ترین آفت‌کش‌ها برای مصرف‌کنندگان و همچنین خطر آب‌شویی قرار گرفتند. در مقابل، حشره‌کش دیازینون و علف‌کش بتانال‌پروگرس (فن‌مدیفام + دس‌مدیفام + اوتوفومازیت) کم‌ترین آسیب را برای مصرف‌کنندگان و خطر آب‌شویی در مزارع چغندرقند منطقه نشان دادند.

بررسی و مقایسه آفت‌کش‌های مصرفی چغندرقند در میزان آسیب به اجزای بوم‌شناختی در شکل ۱۳ نشان داد که آفت‌کش‌های گروه حشره‌کش بیش‌ترین خطر و سمیّت را داشتند. در میان آفت‌کش‌ها، دیازینون، دورسبان (کلرپیریفوس) و کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) با مقادیر آسیب به اجزای بوم‌شناختی برابر با ۱۲۰/۸۵، ۱۰۸/۵۵ و ۸۷/۴۷ در رتبه اول تا سوم جای گرفتند. در گروه علف‌کش‌ها، سم فوزیلید فورته (فلوآزیفوپ‌پی‌بوتیل) و در گروه قارچ‌کش‌ها، سم توپاس (پنکونازول) دارای سمیت بالا در مزارع چغندرقند منطقه شناخته شدند. مصرف قارچ‌کش کربوکسین‌تیرام به‌صورت بذرمال در مزارع چغندرقند کم‌ترین آسیب محیط زیستی بر اجزای بوم‌شناختی را نشان داشت. ارزیابی اثرات محیط زیستی کاربرد آفت‌کش‌ها در تولید چغندرقند در استان‌های خراسان نشان داد که بیش‌ترین مقدار EIQ برای حشره‌کش متاسیستوکس–آر و بازودین بود و علف‌کش پیرامین و حشره‌کش مچ نیز به‌ترتیب دارای کم‌ترین مقدار این شاخص بودند. همچنین حشره‌کش متاسیستوکس–آر و کلرپیریفوس به‌ترتیب دارای بیش‌ترین و کم‌ترین اثر بر جزء کارگران مزرعه بودند. طبق نتایج این تحقیق، قارچ‌کش‌ها بیشترین اثر را روی جزء مصرف‌کننده داشتند و دو حشره‌کش متاسیستوکس– آر و بازودین نیز پراثرترین ترکیبات روی جزء محیط زیست بودند (Bazrgar et al., 2013).

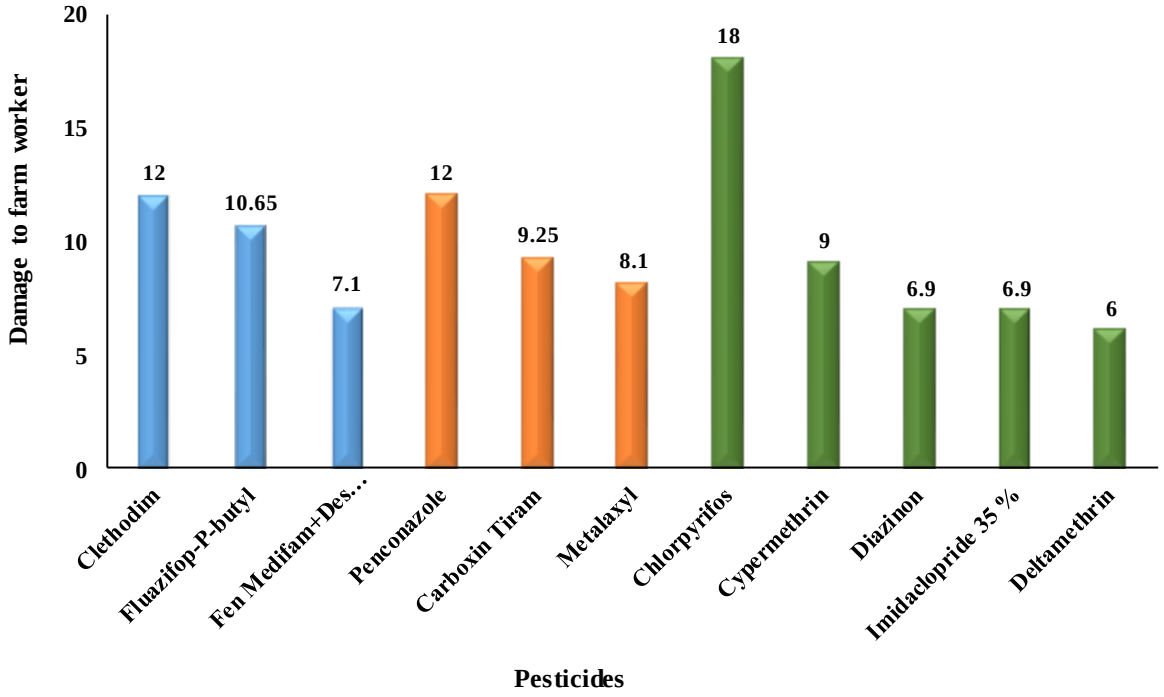
شاخص EIQ-FUR

بررسی میزان اثر محیط زیستی به‌ازای متوسط مقدار مصرف آفت‌کش‌های مصرفی در واحد هکتار مزارع چغندرقند در شکل ۱۵ نشان داد که مصرف ۱/۵ لیتر از حشره‌کش دورسبان (کلرپیریفوس) بیش‌ترین سمیت و خطر (EIQ-FUR= ۲۶/۷۵) را در یک هکتار ایجاد می‌کند. حشره‌کش دیازینون با وجود مصرف کم‌تر (۰/۷ لیتر در هکتار) نسبت به آفت‌کش‌های دیگر همچون علف‌کش‌های فوزیلید فورته (فلوآزیفوپ‌پی‌بوتیل) (سه لیتر در هکتار)، بتانال‌پروگرس (فن-مدیفام + دس‌مدیفام + اوتوفومازیت) (دو لیتر در هکتار)، سلکت سوپر (کلتودیم) (۲/۳۷ لیتر در هکتار) و قارچ‌کش ریدومیل (متالاکسیل) (۱/۵ لیتر در هکتار) میزان EIQ-FUR بالاتری را داشت. این مطلب، سمیت و میزان خطر بالای این آفت‌کش را حتی در مقادیر مصرف پایین نشان می‌دهد.



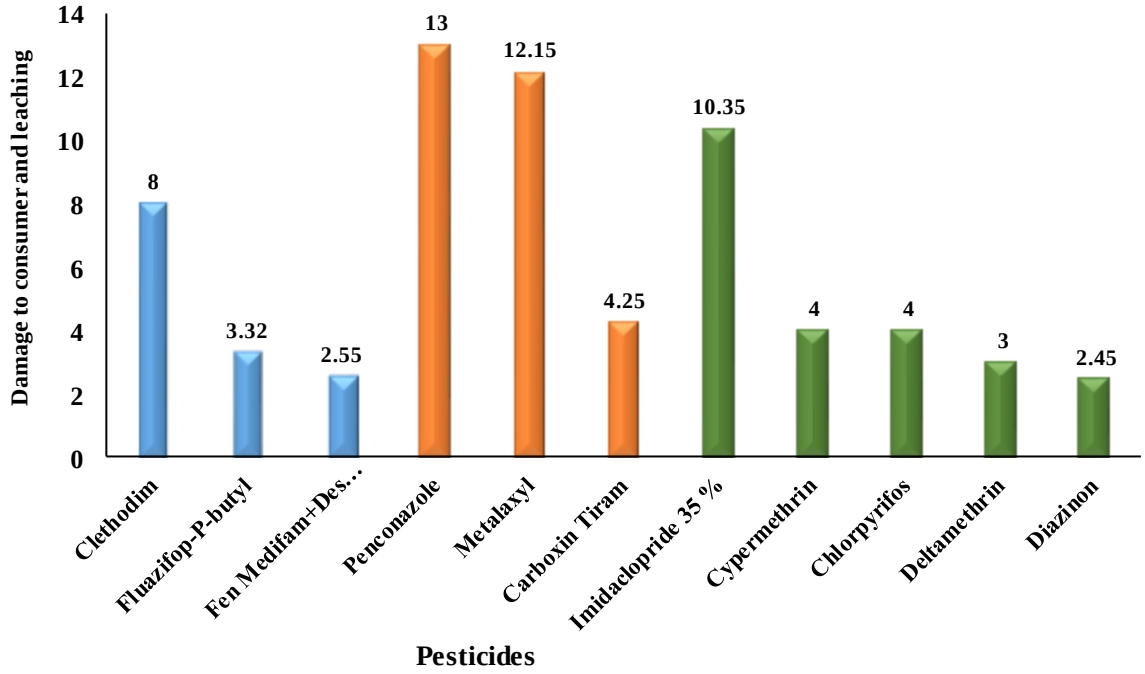
شکل ۱۱- مقادیر EIQ آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع چغندرقند بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول

Fig. 11- EIQ value of pesticides used in sugar beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



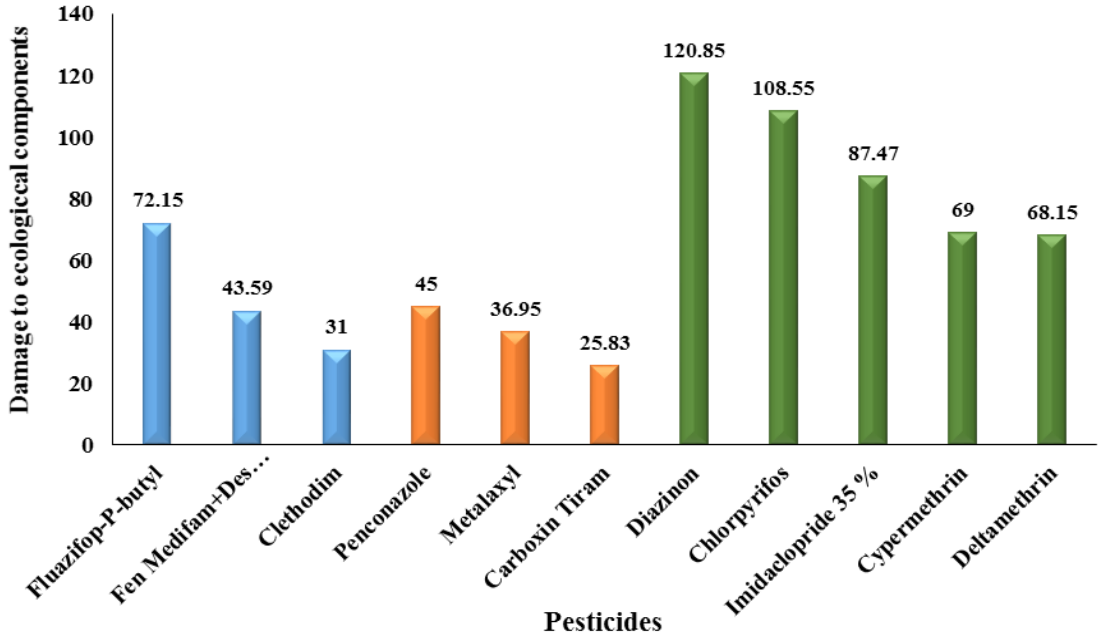
شکل ۱۲- میزان آسیب به کارگران مزرعه در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع چغندرقند بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول

Fig. 12- Damage to farm worker of pesticides used in sugar beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



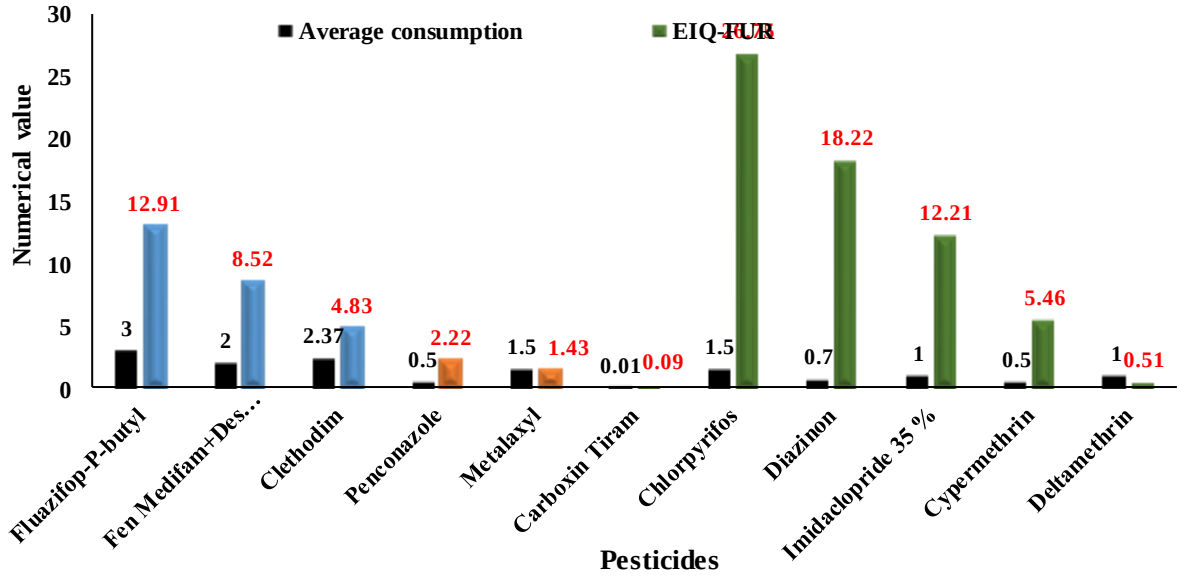
شکل ۱۳- میزان آسیب به مصرف‌کنندگان و آب‌شویی در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع چغندرقند بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول

Fig. 13- Damage to consumer and leaching of pesticides used in sugar beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



شکل ۱۴- میزان آسیب به اجزای بوم‌شناختی در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع چغندرقند بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول

Fig. 14- Damage to ecological components of pesticides used in sugar beet fields of Fazel Abad District of Ali Abad Katool Township



شکل ۱۵- متوسط میزان مصرف آفت‌کش‌های مصرفی و مقادیر EIQ-FUR محاسباتی در واحد هکتار مزارع چغندرقند بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

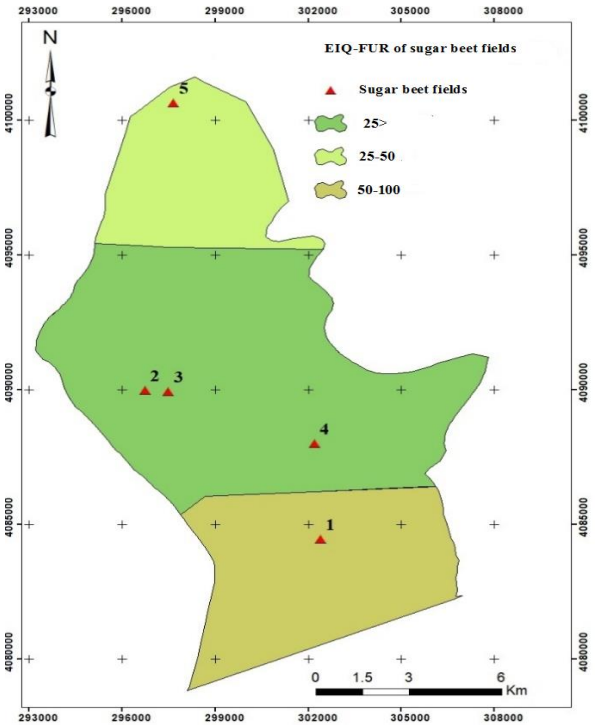
Fig. 15- The average consumption of pesticides and EIQ-FUR values per hectare of sugar beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

میزان EIQ-FUR محاسبه‌شده برای علف‌کش فوزیلید فورته (فلوآزیفوپ‌پی‌بوتیل) و حشره‌کش کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) به‌طور تقریب مشابه بوده است، با این تفاوت که اثر محیط زیستی برآوردشده برای حشره‌کش کونفیدور حاصل یک لیتر در هکتار و برای علف‌کش فوزیلید فورته ماحصل سه لیتر در هکتار از این آفت‌کش بود. بدین معنی که سمیت حشره‌کش کونفیدور سه برابر بیش‌تر از

این علف‌کش می‌باشد. قبلاً محققان گزارش کرده بودند که در سه استان شمالی ایران به‌ازای یک واحد تن محصول زراعی، بیشترین مخاطرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف حشره‌کش‌ها است (Moeinoddini et al., 2014).

نقشه EIQ-FUR

شکل ۱۶، طبقه‌بندی مزارع چغندرقند مورد مطالعه در منطقه را از نظر آسیب محیط زیستی بررسی کرده است. مطابق این شکل، مزرعه شماره یک در جنوب منطقه، به‌دلیل مصرف آفت‌کش‌های مضر همچون دیازینون (۰/۷ لیتر در هکتار)، کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) (یک لیتر در هکتار) و مصرف مقدار بالاتر علف‌کش فوزیلید فورته (فلوآزیفوپ‌پی‌بوتیل) (سه لیتر در هکتار) در کنار استفاده از علف‌کش‌های سلکت‌سوپر (کلتودیم) و بتانال‌پروگرس (فن‌مدیفام + دس‌مدیفام + اوتوفومازیت)، در طبقه آسیب متوسط (۵۰–۱۰۰) قرار گرفت. مزارع ۲، ۳ و ۴ ضمن استفاده از آفت‌کش‌های کم‌خطر و یا مقادیر مناسب از آفت‌کش‌هایی مانند کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد)، توانسته‌اند که مقدار EIQ-FUR خود را در طبقه خیلی کم (کمتر از ۲۵) حفظ کنند. مزرعه شماره ۴ نیز از آفت‌کش‌های کم-خطری همچون سلکت‌سوپر (کلتودیم) و توپاس (پنکونازول) در مقدار استاندارد مصرف کرده است، امّا به‌دلیل استفاده از آفت‌کش مضر دورسبان (کلرپیریفوس) به‌میزان ۱/۵ لیتر در هکتار، مقدار EIQ-FUR آن افزایش یافته و در طبقه آسیب کم قرار گرفت. همان‌طور که در قسمت‌های قبل گفته شد، حشره‌کش دورسبان (کلرپیریفوس) بیش‌ترین آسیب را بر اجزای بوم‌شناختی دارد. بنابراین لازم است که در استفاده از آن برنامه‌ریزی بیش‌تری شود و با حشره‌کش‌های کم خطر همچون مالاتیون و دسیس (دلتامترین) جایگزین گردد.



شکل ۱۶- طبقه‌بندی اثر محیط زیستی مزارع چغندرقند (EIQ-FUR) در بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

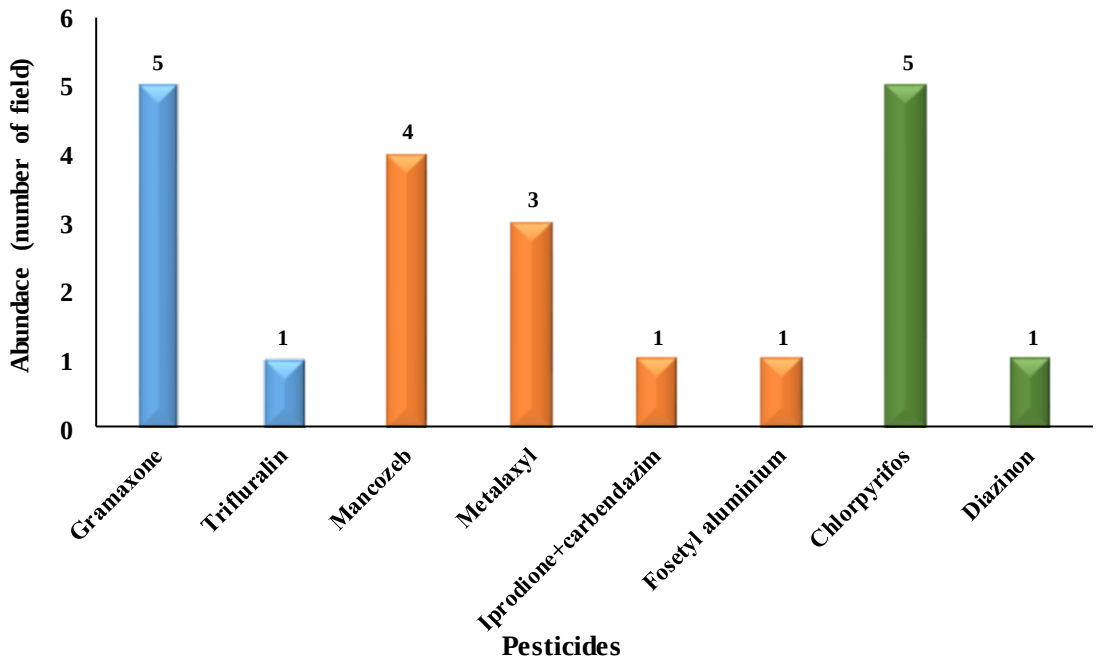
Fig. 16- Classification of environmental impact (EIQ-FUR) of sugar beet fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

سیب زمینی: از مجموع شش مزرعه سیب‌زمینی مورد بررسی، در پنج مزرعه از علف‌کش پاراکوات (گراماکسون) به‌میزان ۳–۵ لیتر در هکتار جهت مهار گیاهان هرز باریک‌برگ از جمله یولاف وحشی، علف‌خونی و غیره استفاده شده است. بیماری‌های برگی و بادزدگی سیب‌زمینی در منطقه، کشاورزان را به مصرف سموم قارچ‌کش سوق می‌دهد. سم مانکوزب به‌میزان ۱–۴ لیتر در هکتار و در چهار مزرعه

جهت ضدعفونی غده‌ها و همچنین سم‌پاشی روی برگ‌ها برای جلوگیری از نفوذ بیماری‌های قارچی استفاده شده است. همچنین قارچ‌کش ریدومیل (متالاکسیل) به‌میزان ۱-۲ لیتر در هکتار در سه مزرعه به کار برده شده است. قارچ‌کش‌های رورال‌تی‌اس (ایپرودیون + کاربندازیم) به‌میزان یک لیتر در هکتار و قارچ‌کش الیت (فوزتیل آلومینیوم) به‌میزان دو لیتر در هکتار در یک مزرعه استفاده شدند. جهت مهار حشرات آفت سیب‌زمینی در منطقه از حشره دورسبان (کلرپیریفوس) به‌میزان ۱/۵ – ۲ لیتر در هکتار در پنج مزرعه و حشره‌کش دیازینون به‌میزان یک لیتر در هکتار جهت مهار حشرات آفت مکنده در یک مزرعه استفاده شدند (شکل ۱۷).

شاخص EIQ

در میان آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع سیب‌زمینی، حشره‌کش‌های دورسبان (کلرپیریفوس) و دیازینون با مقادیر EIQ معادل ۴۳/۵ و ۴۳/۴ به‌ترتیب بیش‌ترین سمیّت و خطر را برای محیط زیست نشان دادند (شکل ۱۸). قارچ‌کش مانکوزب و علف‌کش پاراکوات (گراماکسون) با اثر محیط زیستی برابر با ۲۵/۷۲ و ۲۴/۷۳ در رتبه‌های بعدی سمیّت برای محیط زیست در نظر گرفته شدند. همچنین مقادیر EIQ آفت‌کش‌های ترفلان (تریفلورالین)، ریدومیل (متالاکسیل) و رورال‌تی‌اس (ایپرودیون + کاربندازیم) در دامنه متوسط قرار گرفتند. با توجه به این شکل، مصرف قارچ‌کش الیت (فوزتیل-آلومینیم) کم‌ترین میزان خطر را برای محیط زیست ایجاد می‌کند، البته ناگفته نماند که میزان خطر به محیط زیست توسط هرکدام از آفت‌کش‌ها به‌میزان مصرف آن‌ها در واحد هکتار بستگی دارد.

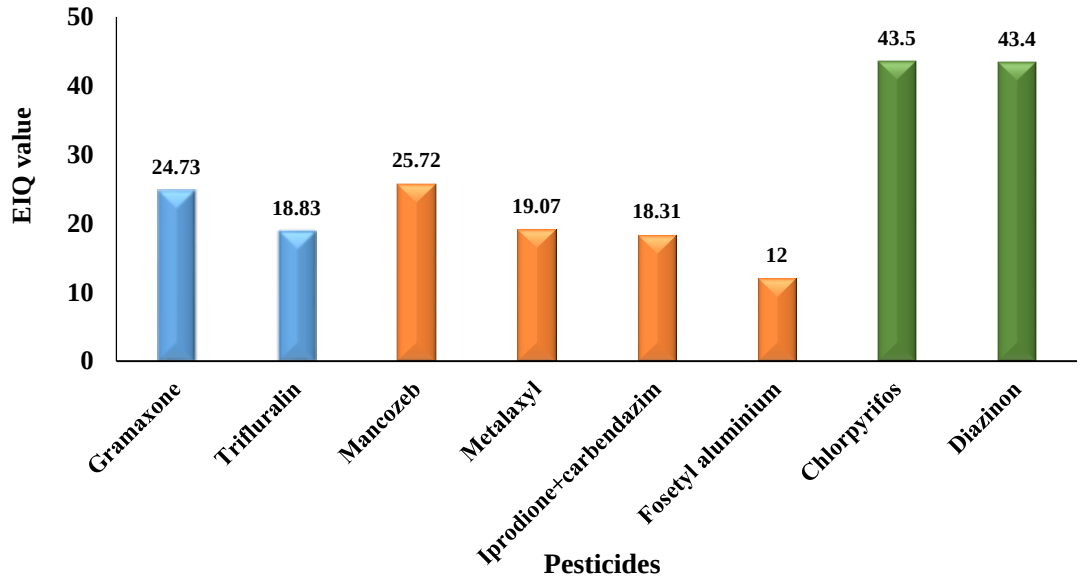


شکل ۱۷-توزیع فراوانی کاربرد آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان
Fig. 17- Distribution of the abundance of pesticides used in potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

بررسی و مقایسه میزان آسیب به کارگران مزرعه در میان آفت‌کش‌های مصرفی مزارع سیب‌زمینی مورد مطالعه در شکل ۱۹ نشان داد که سم‌پاشی علف‌کش پاراکوات (گراماکسون) با میزان EIQ برای جزء کارگر مزرعه برابر ۳۱/۹۵، بیش‌ترین خطر و سمیّت را برای آن‌ها ایجاد می‌کند. سم مانکوزب از گروه قارچ‌کش‌ها و دورسبان (کلرپیریفوس) از گروه حشره‌کش‌ها با مقادیر آسیب به کارگر مزرعه معادل ۲۰/۲۵ و ۱۸ به‌ترتیب به‌عنوان دومین و سومین آفت‌کش خطرناک برای کارگران مزرعه شناخته شدند. مطابق این شکل، قارچ‌کش الیت (فوزتیل‌آلومینیم) کم‌ترین سمیت را برای کارگران مزرعه نشان داده، بنابراین می‌توان آن را با اطمینان خاطر بیش‌تری

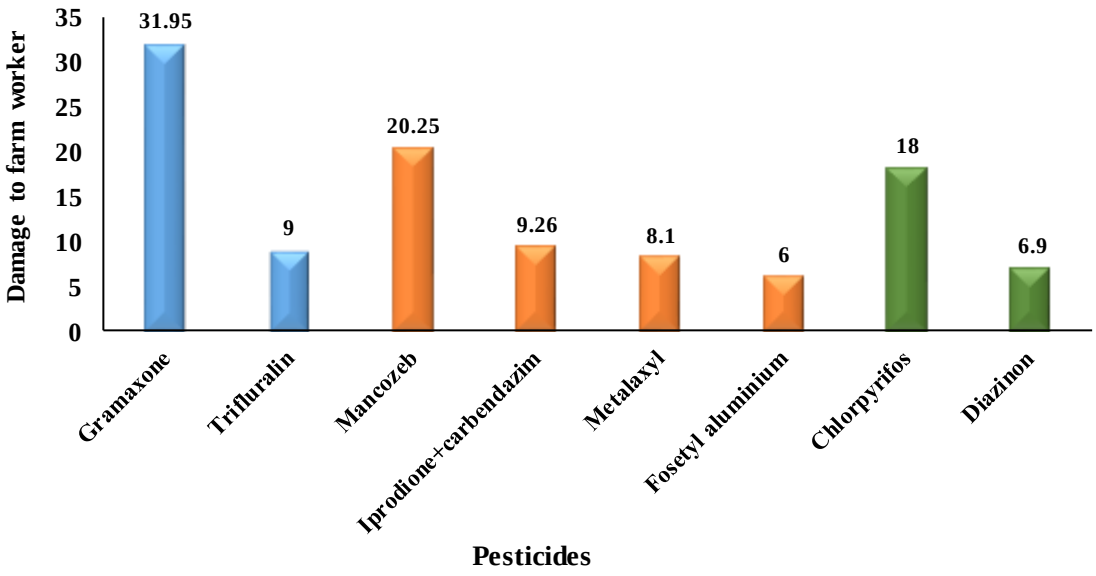
در مزرعه استفاده و توصیه کرد (شکل ۱۹).

در میان آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع سیب‌زمینی مورد بررسی، گروه قارچ‌کش‌ها به‌جز قارچ‌کش الیت (فوزتیل‌آلومینیم)، بیش‌ترین خطر و آسیب را برای مصرف‌کنندگان و خطر آب‌شویی نشان دادند.



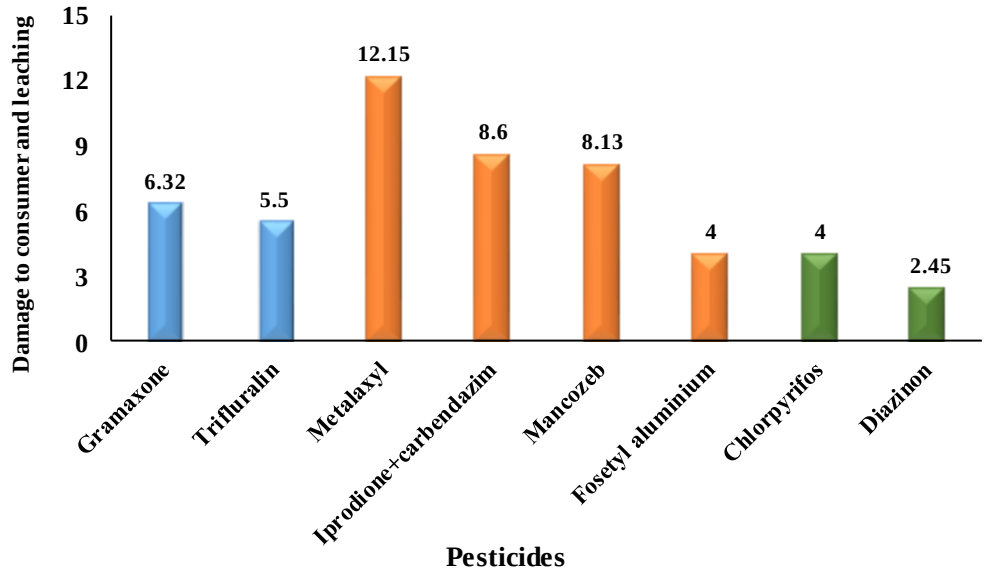
شکل ۱۸- مقادیر EIQ آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 18- EIQ value of pesticides used in potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



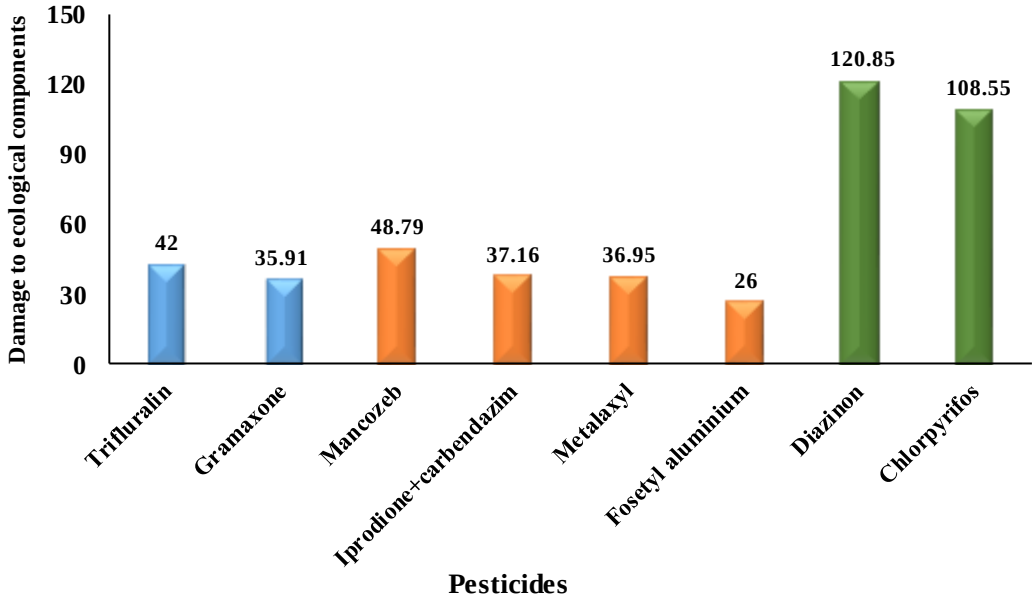
شکل ۱۹- میزان آسیب به کارگران مزرعه در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 19- Damage to farm worker of pesticides used in potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



شکل ۲۰- میزان آسیب به مصرف‌کنندگان و آب‌شویی در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 20- Damage to consumers and leaching of pesticides used in potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province



شکل ۲۱- میزان آسیب به اجزای بوم‌شناختی در مصرف انواع آفت‌کش‌ها در مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

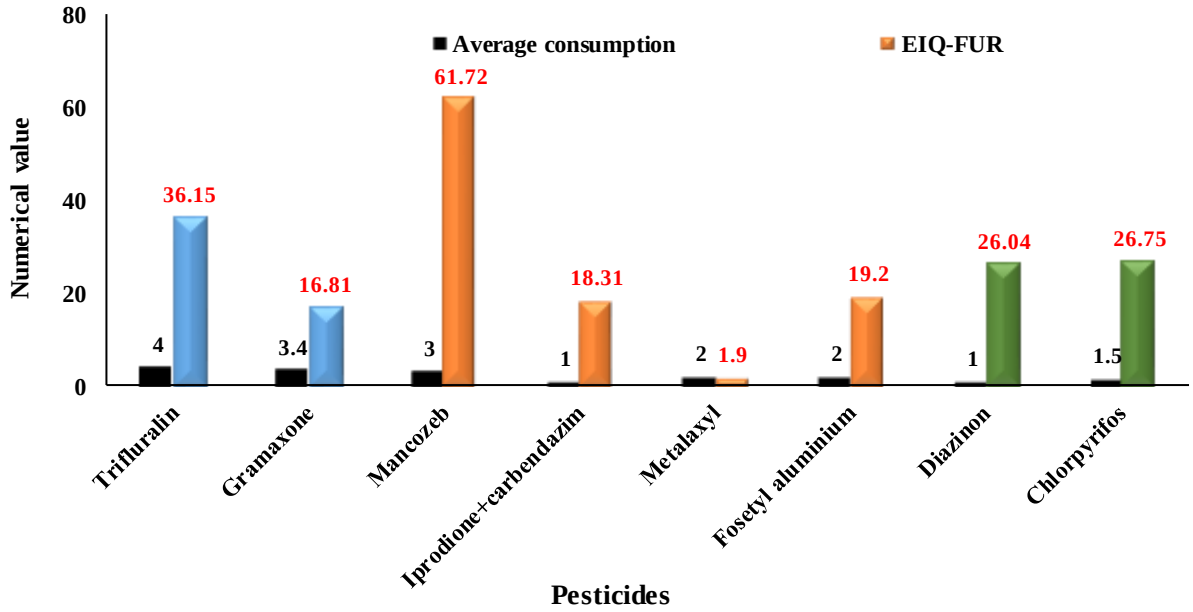
Fig. 21- Damage to ecological components of pesticides used in potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

در این گروه، ریدومیل (متالاکسیل)، رورال‌تی‌اس (ایپرودیون + کاربندازیم) و مانکوزب با میزان آسیب ۱۲/۱۵، ۸/۱۶ و ۸/۱۳ در رتبه‌های اول تا سوم آفت‌کش‌های خطرناک برای مصرف‌کنندگان و خطر آب‌شویی قرار گرفتند. در مقابل، حشره‌کش دیازینون با میزان آسیب

۲/۴۵، کم‌ترین میزان آسیب را بر این بخش نشان داد (شکل ۲۰). حشره‌کش‌های دورسبان (کلرپیریفوس) و دیازینون با میزان اثر بر اجزای بوم‌شناختی برابر با ۱۲۰/۸۵ و ۱۰۸/۵۵ به‌عنوان سمی‌ترین و خطرناک‌ترین آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع سیب‌زمینی منطقه شناخته شدند. قارچ‌کش مانکوزب و علف‌کش ترفلان (تریفلورالین) در رتبه‌های بعدی آفت‌کش‌های دارای اثر منفی بالا بر اجزای محیط زیست معرفی شدند. کم‌ترین میزان آسیب بر اجزای بوم‌شناختی در قارچ‌کش الیت (فوزتیل‌آلومینیم) مشاهده شد (شکل ۲۱).

شاخص EIQ-FUR

شکل ۲۲، متوسط میزان مصرف آفت‌کش‌ها و مقادیر EIQ-FUR حاصل از آن‌ها را در واحد هکتار مزارع سیب‌زمینی نشان می‌دهد. مطابق این شکل، قارچ‌کش مانکوزب به دلایل مصرف مقادیر بالاتر از حد استاندارد (یک لیتر در هکتار) در چند نوبت سم‌پاشی و همچنین درصد بالای ماده مؤثره موجود در این سم، میزان اثر محیط زیستی بالایی را نشان داده است. علف‌کش ترفلان (تریفلورالین) با وجود مصرف مقادیر بالاتری از سم نسبت به مانکوزب، EIQ-FUR کم‌تری را برآورد کرده است که دلیل آن پایین‌تر بودن مقدار EIQ و ماده مؤثره کم‌تر آن نسبت به قارچ‌کش مانکوزب می‌باشد و در رتبه دوم آفت‌کش‌های مضر برای محیط زیست در مزارع سیب‌زمینی منطقه قرار گرفت. مصرف ۱/۵ لیتر در هکتار حشره‌کش کلرپیریفوس (دورسبان)، اثر محیط زیستی تقریباً نزدیکی به EIQ-FUR حاصل از یک لیتر در هکتار حشره‌کش دیازینون ایجاد کرده است و در واقع، این نشان دهنده میزان سمیت بالاتر دیازینون بر محیط زیست می‌باشد. اگر فرض شود که از تمامی این آفت‌کش‌ها به اندازه یک لیتر در هکتار استفاده شده باشد، بیش‌ترین سمیّت برای محیط زیست به‌ترتیب مربوط به آفت‌کش‌های دیازینون، مانکوزب، رورال‌تی‌اس (ایپرودیون + کاربندازیم) و کلرپیریفوس (دورسبان) خواهد بود. در مقابل، مصرف دو لیتر از قارچ‌کش متالاکسیل (ریدومیل) کم‌ترین میزان EIQ-FUR را به دست آورده است؛ پایین بودن ماده مؤثره این سم، نقش بسزایی در کاهش اثر محیط زیستی این آفت‌کش داشته است (شکل ۲۲). در مطالعه ارزیابی اثرات زیست‌محیطی تولید سیب‌زمینی در کشور اکوادور و پرو مشخص شد که مقدار عددی اثرات محیط زیستی برای مزارع دارای مدیریت تلفیقی آفات، حداقل میزان (حدود ۴۰) و برای مزارع با مدیریت رایج حداکثر میزان این شاخص (حدود ۱۲۳۵) به دست آمد (Kromann et al., 2011).

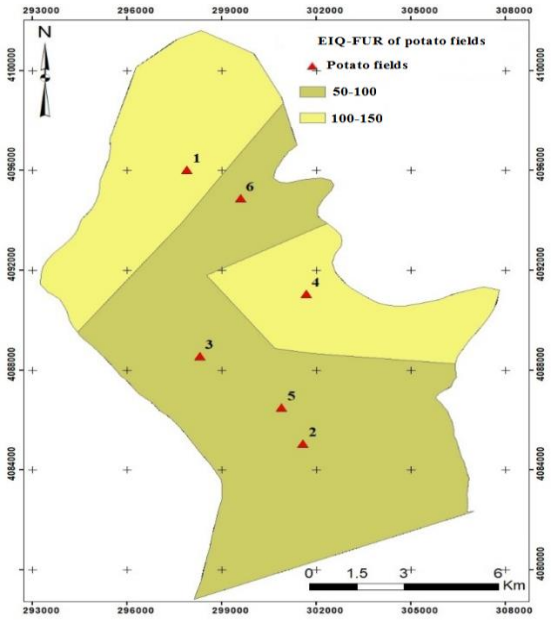


شکل ۲۲- متوسط میزان مصرف آفت‌کش‌ها و مقادیر EIQ-FUR محاسباتی در واحد هکتار مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 22- The average consumption of pesticides and EIQ-FUR values per hectare of potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

نقشه شاخص EIQ-FUR

شکل ۲۳، طبقه‌بندی اثر محیط زیستی مجموع آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع سیب‌زمینی بخش فاضل‌آباد را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، دو مزرعه شماره ۱ و ۴ در شمال و مرکز منطقه، به‌دلیل استفاده از آفت‌کش‌های خطرناکی از جمله حشره‌کش‌های دورسبان (کلرپیریفوس)، دیازینون و مقادیر بیش از حد علف‌کش پاراکوات (گراماکسون) و قارچ‌کش مانکوزب، در طبقه ۱۰۰–۱۵۰ یا کلاس آسیب محیط –زیستی زیاد قرار گرفتند. همچنین سه مزرعه در بخش مرکزی و جنوبی منطقه در طبقه آسیب متوسط به محیط زیست در نظر گرفته شدند. تنوع دادن به سموم مصرفی و استفاده از انوع مختلف سموم در یک گروه آفت‌کشی مانند قارچ‌کش‌ها، به مراتب بهتر از حالتی است که تنها از یک نوع آفت‌کش در مقدار بالا استفاده شود. مزرعه شماره ۶ تنها از دو نوع آفت‌کش پاراکوات (گراماکسون) و مانکوزب به‌میزان سه و چهار لیتر در هکتار استفاده کرده و میزان EIQ-FUR معادل ۹۷/۱۴ را داشته است، امّا در مقابل، مزرعه شماره ۲ از دو نوع قارچ‌کش ریدومیل (متالاکسیل) و رورال‌تی‌اس (ایپرودیون + کاربندازیم) به‌میزان یک لیتر در هکتار استفاده کرده و EIQ-FUR آن در حدود ۶۹ به دست آمده است. در تحقیقی، اثرات محیطی (EI) تولید سیب‌زمینی در ایتالیا در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹ روند کاهشی نشان داد. محققان دلیل آن را به استفاده بیش‌تر از آفت‌کش‌های انتخابی، توسعه فناوری‌های دوست‌دار محیط زیست، مهار آفات و توسعه روش‌های زراعی نسبت دادند (Ioriatti et al., 2011).



شکل ۲۳- طبقه‌بندی اثر محیط زیستی مزارع سیب‌زمینی (EIQ-FUR) در بخش فاضل‌آباد شهرستان علی‌آبادکتول، استان گلستان

Fig. 23- Classification of environmental impact (EIQ-FUR) of potato fields of Fazel Abad district in Ali Abad Katool county, Golestan province

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، در میان محصولات مورد مطالعه در منطقه، می‌توان نتیجه گرفت که اثر محیط زیستی و آلودگی ناشی از کشت سیب‌زمینی بیش‌تر از محصولات دیگر می‌باشد. به‌طور کلی، براساس میانگین این آسیب‌های ذکرشده یعنی شاخص EIQ برای هر آفت‌کش، قارچ‌کش آلتوکمبی (سایپروکونازول + کاربندازیم)، حشره‌کش‌های دورسبان (کلرپیریفوس) و دیازینون، قارچ‌کش فولیکور (تبوکونازول) و حشره‌کش‌های کونفیدور (ایمیداکلوپراید ۳۵ درصد) و گائوچو (ایمیداکلوپراید ۷۰ درصد) خطرناک‌ترین آفت‌کش‌ها در مزارع مورد بررسی معرفی شدند. بیش‌ترین میزان آسیب به کارگر مزرعه در گروه علف‌کش‌ها متعلق به پاراکوات (گراماکسون)، در گروه حشره‌کش‌ها مربوط به فوزالن، کلرپیریفوس و بیسکایا (تیاکلوپراید) و در

گروه قارچ‌کش‌ها به مانکوزب، آلتوکمبی (سایپروکونازول + کاربندازیم) و فولیکور (تبوکونازول) تعلق گرفت و به‌طور کلی، در مصرف علف‌کش پاراکوات، بیش‌ترین آسیب متوجه کارگران مزرعه خواهد بود. بیش‌ترین اثر محیط زیستی در واحد یک هکتار متعلق به قارچ‌کش مانکوزب با EIQ-FUR برابر با ۶۱/۷۲ می‌باشد. این قارچ‌کش EIQ متوسطی (۲۵/۷۲) در مقایسه با آفت‌کش‌هایی همچون آلتوکمبی (سایپروکونازول + کاربندازیم)، دورسبان (کلرپیریفوس) و دیازینون و غیره دارد، امّا به‌دلیل بالا بودن درصد ماده مؤثره آن (۰/۸ درصد) و همچنین مصرف بیش از حد استاندارد آن در مزارع سیب‌زمینی منطقه (سه لیتر در هکتار)، بیش‌ترین آسیب و سمیت را بر محیط زیست وارد می‌کند. همچنین افزایش دفعات و مقدار مصرف علف‌کش ترفلان (تریفلورالین) در مزارع سیب‌زمینی (چهار لیتر در هکتار) نیز هشداری بر آلودگی محیط زیست ناشی از مدیریت اشتباه در زراعت سیب‌زمینی منطقه می‌باشد که آن را به‌عنوان دومین آفت‌کش خطرناک منطقه معرفی کرد. همچنین حشره‌کش‌های دورسبان (کلرپیریفوس) (۱/۵ لیتر) و دیازینون (یک لیتر) و قارچ‌کش توپسین‌ام (تیوفانات متیل) (یک لیتر) در واحد هکتار به‌ترتیب EIQ-FUR و اثر محیط زیستی بالاتری نسبت به سایر آفت‌کش‌ها ایجاد کردند و بنابراین، در استفاده یا جایگزینی آن‌ها لازم است که برنامه‌ریزی بیش‌تری شود. با توجه به ضرورت برنامه‌ریزی جهت استفاده سموم و آگاه‌سازی کشاورزان از مخاطرات مصرف و توجه به استفاده از آفت‌کش‌های کم آسیب، پیشنهاد می‌شود که این شاخص در خصوص کلیه آفت‌کش‌های مورد استفاده منطقه محاسبه گردد و انتخاب سموم در برنامه‌های مدیریت تلفیقی آفات با توجه به این شاخص صورت پذیرد.

References

1. Arefi, R., Soltani, A., & Ajam Noroozi, H. (2017). Environmental assessment of agricultural pesticides used in cotton fields in Golestan province. *Journal of Agroecology*, *10*(4), 1135-1148. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V10I4.61847
2. Ansah, B. (2019). Assessment pesticides application and impacts among smallholder cocoa farmers in western Region-Ghana. Thesis submitted to the Department of Environmental Science of the School of Biological Sciences, College of Agriculture and Natural Sciences, University of Cape Coast, in partial fulfilment of the requirements for the award of Master of Philosophy degree in Environmental Science.
3. Balali, H., & Mohammadi, M. (2019). Investigating the economic behavior of wheat farmers in Kermanshah to reduce the negative environmental impacts of chemical fertilizers (Application of Contingent Valuation Method). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *50*(4), 643-657. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/IJAEDR.2019.275898.668722
4. Barghi, H., Hassaninezhad, A., & Shayan, M. (2017). Evaluate the effect of agricultural inputs and chemical pesticides on rurals' environment (Case study: Zarindasht city rural area). *Enviromental Hazards Management*, *4*(3), 247-262. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/JHSCI.2018.248113.306
5. Barzegar, S.M.M. (2019). Piece toxinx and chemical fertilizers on the soil and the health of the biologists. 16th Iranian soil science Congress University of Zanjan, Iran, August 27-29. (in Persian)
6. Bazrgar, A.B., Soltani, A., Koocheki, A., Zeinali, E., & Ghaemi, A. (2013). Evaluation of the environmental impacts of pesticides used in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production systems in Khorasan provinces. *Journal of Agroecology*, *5*(2), 122-133. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V5I2.24463.
7. Bues, R., Bussières, P., Dadomo, M., Dumas, Y., Garcia-Pomar, M.I., & Lyannaz, J.P. (2004). Assessing the environmental impacts of pesticides used on processing tomato crops. *Agriculture Ecosystems and Environment*, *102*, 155-162. https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.08.007
8. Dehghani, R., Limoee, M., & Zarghi, I. (2012). The review of pesticide hazards with emphasis on insecticide resistance in arthropods of health risk importance. *Scientific Journal of Kurdistan University of Medical Sciences*, *17*(1), 82-98. (in Persian with English abstract): http://sjku.muk.ac.ir/article-1-742-fa.html
9. Fazel Abad Agricultural Service Center. (2022). Management of crops and horticulture. https://www.ajgol.ir
10. Gios, G., Farinelli, S., Kheiraoui, F., Martini, F., & Orlando, J.G. (2022). Pesticides, crop choices and changes in well-being. *Bio-based and Applied Economics*, *11*(2), 171-184. https://doi.org/10.36253/bae10310.
11. Gunier, R.B., Harnly, M.E., Reynolds, P., Hertz, A., & Von Behren, J. (2001). Agricultural pesticide uses in

California: Pesticide prioritization, use densities, and population distributions for a childhood cancer study. *Environmental Health Perspectives*, *109*(10), 1071-1078. https://doi.org/10.2307/3454963

12. Hoseini, S. A. (2018). Assessing the environmental effects of pesticides used in the wheat, canola, cotton and soybean fields in Gorgan and Ali Abad Katool townships. College of Plant Production. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requierments for the Degree of M.Se. in Agro-Ecology. Gorgan University of Agriculyural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. (in Persian with English abstract)
13. Ioriatti, C., Agnello, A.M., Martini, F., & Kovach, J. (2011). Evaluation of 330 the environmental impact of apple pest control strategies using pesticide risk indicators. *Integrated Environmental Assessment and Management*, *7*(4), 542-9. https://doi.org/10.1002/ieam.185
14. Kihanian, A.K., Berari, H., & Taghi Mubasheri, M. (2023). Investigating the efficiency of some new insecticides to control rapeseed fleas. *Oilseed Plant Promotion Journal*, *3*(1), 44-49. (in Persian).
15. Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., & Tette, J. (1992). A method to measure the environmental impact of pesticides. New York's Food and Life Sciences. Bulletin 139:1–8. https://hdl.handle.net/1813/55750
16. Kromann, P., Pradel, W., Cole, D., Taipe, A., & Forbes, G.A. (2011). Use of the environmental impact quotient to estimate health and environmental impact of pesticide usage in Peruvian and Ecuadorian potato production. *Journal of Environmental Protection*, *2*, 581-591. https://doi.org/10.4236/jep.2011.25067
17. Molaei, M., Javanbakht, O., & Hesari, N. (2017). The estimation input-oriented environmental efficiency of agricultural products (Case study: Environmental efficiency of rice production). *Aricultural Economics Journal*, *11*(2), 157-172. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/IAES.2017.26798
18. Maleki, L., Sadrabadi Haghighi, R., & Bazregar, A.B. 2015. The study of environmental impact quotient (EIQ) of pesticides used in wheat and barley farms in Mashhad. *Journal of Agroecology*, *7*(1), 109-119. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v7i1.48270
19. Moeinoddini, S.S., Zand, E., Kambouzia, J., Mahdavi Damghani, A., & Deihim Fard, R. (2014). Environmental risk assessment of registered insecticides in Iran using Environmental Impact Quotient (EIQ) index. *Journal of Agroecology*, *6(2)*, 250-265. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V6I2.39367
20. Niazmoradi, M., Kazemi, H., Gherekhloo, J., Soltani, A., & Kamkar, B. (2024). Environmental Impact Quotient (EIQ) evaluation of used pesticides in wheat (*Triticum aestivum* L.) fields of Bandar-e-Turkeman county, Golestan province. *Journal of Agroecology*, *15*(4), 809-823. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/AGRY.2022.76161.1106
21. Norouzi, A., & Shahbazi, I. (2011). The role of extension education in development of organic agriculture in Iranian villages. *Journal of Community Development*, *2*(2), 1-22. (in Persian with English abstract)
22. Peterson, R.K.D., & Schleier III, J.J. (2014). A probabilistic analysis reveals fundamental limitations with the environmental impact quotient and similar systems for rating pesticide risks. *PeerJ*, *2*(1), e364. https://doi.org/10.7717/peerj.364 .
23. Prasopsuk, J., Promkhambut, A., Laohasiriwong, S., & Boonthai Iwai, CH. (2020). Risk assessment of pesticide use in Chinese kale cultivation of GAP and conventional practice by EIQ in North-East Thailand. *International Journal of Environmental and Rural Development*, 11(2), 7-11.
24. Ramezani, M. K. (2013). Fate of pesticides and their risks assessment in the environment: A review. *Journal of Weeds Research*, *5*(1), 97-121. (in Persian with English abstract)
25. Sookhtanlou, M., & Allahyari, M.S. (2021). Farmers' health risk and the use of personal protective equipment (PPE) during pesticide application. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(4), 1-11. https://doi.org/10.1007/s11356-021-12502-y
26. Thanh Thuan, N., & Hang, H.T. (2023). Assessment of the health and ecological risks caused by fungicides in *Chrysanthemum* cultivation by environmental impact quotient. *Dalat University Journal of Science*, *13*(2), 63-75. https://doi.org/10.37569/DalatUniversity.13.2.1079(2023)
27. Turgut, C., & Erdogan, O. (2005). The environmental risk of pesticide in cotton production in Aegean region, Turkey. *Journal of Applied Science*, *5*(8), 1391-1393. https://doi.org/10.3923/jas.2005.1391.1393
28. Vaezzadeh, V., Mashinchian Moradi, A., Esmaili Sari, A., & Fatemi, A.M. (2008). Study of organochlorine pesticides in muscle tissue of two commercial fish species (*Cyprinus carpio* & *Rutilus frisii* kutum) in Southwest of the Caspian Sea. *Environmental Sciences*, *5*(3), 33-40. (in Persian with English abstract)
29. Vercruysse, F., & Steurbaut, W. (2002). POCER, the pesticide occupational and environmental risk indicator.

Crop Protection, 21, 307-315. https://doi.org/10.1016/s0261-2194(01)00102-8

30. Yadollahi Nooshabadi, S. J., Jahansuz, M. R., Majnoun Hosseini, N., & Peykani, G. (2017). Evaluation of environmental risks in the use of insecticide in Hashtgerd area using EIQ. *Journal of Agroecology*, *9*(4), 1020-1030. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/JAG.V9I4.50487