

Crop Science Research in Arid Regions

homepage: <https://cropsceince.uoz.ac.ir/>

Research Article

Volume 7, Issue 4, 2025, P. 777-792

The effect of agricultural management scenarios on the leaching of nicosulfuron (Cruze) herbicide from soil covered with corn plants

Lida Ansari ^a, Abdolreza Ahmadi ^b, Masoud Shakarami ^{*c}

^a M.Sc. Graduate in Weed Science, Department of Plant Protection, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

^b Department of Production Engineering and Plant Genetics, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

^c Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khorramabad, Iran

*Corresponding Author: Shakarami.mas@lu.ac.ir

Received: 3 November 2024

Accepted: 15 March 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.486895.1449

How to cite this article:

Ansari, L., Ahmadi, A. and Shakarami, M., 2025. The effect of agricultural management scenarios on the leaching of nicosulfuron (Cruze) herbicide from soil covered with corn plants. *Crop Science Research in Arid Regions*, 7(4), 777-792. <https://doi.org/10.22034/csrar.2025.486895.1449>

Abstract

Introduction: Maize (*Zea mays L.*) is of particular importance in Iran as the main source of energy for poultry and livestock feeding, and for this reason, the development of the cultivated area and the increase in the production of this product have a special priority. According to the information of the World Agricultural Food Organization, the cultivated area of corn has reached 98.8 million hectares, which is 10.4% of the cultivated area of the world, and its annual production is equal to 1.1 billion tons. Among the factors limiting the production of agricultural products and reducing their quantity and quality are pests, diseases and weeds. Among these three factors, weeds are of great importance. The amount of damage caused by weeds in the corn field is different and is usually between 69 and 84%. *Sorghum halepense* (L.) Pers. It is one of the most important weeds in corn fields. Water and soil pollution are important environmental issues that endanger human health. Nicosulfuron (Cruze) and Rimsulfuron are among the most widely used herbicides in agricultural products, which are used to control weeds in Iranian fields. Since the herbicides used in fields and agricultural lands have different durability and effects on the environment, therefore, study and research on the remaining amount of these products in the soil, as well as investigating its absorption behavior in the soil and establishing a link between the pesticide and clay particles. Organic matter in soil is essential.

Materials and Methods: In order to investigate the leaching rate of Nicosulfuron herbicide from the soil column with corn crop vegetation and *Sorghum* weed under different management scenarios in the soil profile, a factorial experiment based on a completely random design, with three repetitions in 39 polyethylene columns with a diameter of 12 and a height of 70 cm was designed and used. The test factors include two types of soil; The soil of Kohdasht (S₁) and Khorramabad (S₂) regions, as well as



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

three types of organic matter including; sheep manure (OM₁), wheat straw (OM₂), biochar (OM₃) and control (OM₄). The levels of biochar and sheep fertilizers were 50 tons per hectare and organic matter of straw was 1%. After designing and preparing soil columns, corn and sorghum plants were cultivated in them. During the growing season, 5 periods of irrigation were applied and at the end of each irrigation, the amount of toxin in the effluent from the soil column was measured.

Results and Discussion: The results showed that the effect of soil type, organic matter, irrigation time, and the interactions of organic matter and irrigation time on the amount of drainage toxin were significant ($p < 0.01$). The results of comparison between different treatments showed that the use of organic matter in the soil causes the absorption of toxin and prevents its mobility to the lower layers, so that the highest and lowest concentrations of herbicides in the drain were observed in the treatment containing straw and control treatment, respectively. The amount of soil clay plays an important role in the rate of toxin uptake, so that in the present study, the highest rate of herbicide uptake in columns containing Sorghum, biochar fertilizer and soil of Khorramabad region and the lowest rate of toxin uptake in columns containing corn, straw and soil of Kuhdasht region was observed.

Conclusion: The results of the present study show that the behavior of surface absorption and release of Cruz herbicide in the soil depends on the physico-chemical characteristics of the soil such as soil clay content, type of organic matter and organic carbon content.

Keywords: Agricultural sustainability, Organic matter, Soil column, Toxicant absorption, Toxicant mobility

اثر سناریوهای مدیریت کشاورزی بر آبشویی علف‌کش نیکوسولفورون (کروز) از خاک با پوشش گیاه ذرت

لیدا انصاری^۱، عبدالرضا احمدی^۲، مسعود شاکرمی^{۳*}

۱- کارشناسی ارشد علف‌های هرز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
 ۲- گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
 ۳- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

* مسئول مکاتبه: Shakarami.mas@lu.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2025.486895.1449

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۲/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳

چکیده

به منظور بررسی میزان آبشویی علف‌کش نیکوسولفورون با پوشش گیاه ذرت و علف‌هرز قیاق، آزمایشی به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار در ۳۹ ستون پلی‌اتیلنی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل نوع خاک؛ خاک‌های شهرستان‌های کوه‌دشت (S₁) و خرم‌آباد (S₂) و همچنین نوع ماده آلی شامل کود گوسفندی (OM₁)، کاه و کلش گندم (OM₂)، بیوچار (OM₃) و شاهد (OM₄) بودند. در طول فصل کشت، ۵ دوره آبیاری اعمال و در پایان هر آبیاری میزان سم زه‌آب خروجی از ستون‌های خاک اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد، اثر نوع خاک، ماده آلی، زمان آبیاری، و اثرات متقابل ماده آلی و زمان آبیاری بر میزان سم زه‌آب معنی‌دار ($p < 0/01$) است. نتایج مقایسه میانگین در تیمارهای مختلف نشان داد، بالا بودن میزان ماده آلی و میزان رس خاک، سبب جذب سم و از آبشویی آن به لایه‌های پایین جلوگیری می‌کنند. بیشترین (۰/۳۷) و کمترین (۰ میکروگرم در لیتر) غلظت سم موجود در زه‌آب به ترتیب مربوط به تیمار حاوی کاه و کلش و تیمار شاهد می‌باشد. بالاترین میزان جذب علف‌کش در ستون‌های حاوی گیاه قیاق، کود بیوچار و خاک منطقه خرم‌آباد و کمترین میزان جذب سم در ستون‌های حاوی گیاه ذرت، کاه و کلش و خاک منطقه کوه‌دشت مشاهده شد. نتایج نشان داد با گذشت زمان، از میزان سم موجود در زه‌آب کاسته می‌گردد. لذا استفاده از راهکارهای مدیریتی از جمله استفاده از پسماندهای آلی و خاک رس به‌عنوان روشی مؤثر برای به حداقل رساندن آلودگی زیست‌محیطی در زمان استفاده از آفت‌کش‌ها توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تحرک سم، پایداری کشاورزی، جذب سم، ستون خاک، مواد آلی

مقدمه

استفاده می‌شوند، اما کاربرد نادرست آن‌ها می‌تواند منجر به آبشویی و انتقال آلاینده‌ها به لایه‌های عمیق‌تر خاک و منابع آب زیرزمینی شود، که این امر علاوه بر کاهش کارایی علف‌کش‌ها، تهدیدی جدی برای محیط‌زیست و سلامت انسان محسوب می‌شود (Giuliano et al., 2021).

سموم حاصل از آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها با تأثیر بر کیفیت خاک و آب و انتقال به اکوسیستم‌های مجاور، سلامت انسان و موجودات زنده را تهدید می‌کنند (James et al., 2022; Giuliano et al., 2021; Sadeghzadeh et al., 2017; Genuis et al., 2016). محققان مختلف با آگاهی از این خطرات، مطالعات متعددی را در زمینه بررسی سرنوشت و نحوه انتقال سموم آفت‌کش و علف‌کش در خاک و تعیین راهکارهای مدیریتی برای کاهش آثار آن‌ها در محیط انجام داده‌اند (Pot et

ذرت، به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین غلات جهان، با سطح زیر کشت ۱۹۷ میلیون هکتار و تولید سالانه بیش از ۱ میلیارد تن، نقش حیاتی در تأمین غذای انسان، دام و طیور ایفا می‌کند (Erenstein et al., 2022; FAO, 2021). با این حال، علف‌های هرز، به‌ویژه قیاق، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید ذرت، خسارت قابل‌توجهی به مزارع وارد می‌کنند. در ایران، خسارت ناشی از علف‌های هرز در مزارع ذرت بین ۶۹ تا ۸۴ درصد متغیر است، درحالی‌که در ایالات متحده و کانادا، این خسارت به‌طور متوسط، سبب ۵۰ درصد کاهش عملکرد و زبانی بالغ بر ۲۶/۷ میلیارد دلار در سال را به همراه دارد (Soltani et al., 2016; Noormohamadi et al., 2009). برای کنترل علف‌های هرز، علف‌کش‌ها به‌طور گسترده

علف‌کش‌ها در خاک‌های زراعی اصلاح شده با ضایعات جنگل توجه کرد (James et al., 2022). شستشوی علف‌کش‌ها و متابولیت‌های آنها در لایسیمترهای پر شده با خاک‌های خطوط راه‌آهن تاکید کرد (Buerge et al., 2024). شستشوی بقایای علف‌کش از سطوح شن و خاک سطحی کشاورزی در شرایط لایسیمتری (Albers et al., 2020) اشاره کرد.

انتخاب راهبردهای مدیریتی بهینه نیازمند درک سرنوشت و انتقال علف‌کش‌ها در خاک است. با وجود مطالعات گسترده در این زمینه، پژوهش‌ها درباره شناخت، سرنوشت و انتقال و نگهداشت علف‌کش‌ها به کار رفته با آب آبیاری به دلیل نیاز به امکانات خاص، محدود است. این پژوهش با هدف بررسی آبشویی سم نیکوسولفورون در خاک تحت راهبردهای مدیریتی مختلف (استفاده از مواد آلی و بافت‌های مختلف خاک) برای کاهش اثرات زیان‌بار این سم بر خاک و محیط‌زیست انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به منظور بررسی میزان آبشویی علف‌کش نیکوسولفورون (کروز) از ستون خاک در زمان‌های مختلف آبیاری با پوشش گیاه زراعی ذرت و علف‌هز قیاق، تحت سناریوهای مختلف مدیریتی (کاربرد ماده آلی و نوع خاک به منظور جذب علف‌کش) به صورت عددی تکرار شده در چارچوب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور (نوع خاک، ماده آلی) در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انجام گرفت. فاکتورها، شامل دو نوع خاک: خاک‌های منطقه کوه‌دشت (S₁) و خرم‌آباد (S₂) و همچنین چهار نوع ماده آلی: کود گوسفندی (OM₁)، کاه و کلش (OM₂)، بیوپچار (OM₃) و شاهد (OM₄) بودند. کودهای بیوپچار و کود گوسفندی به میزان ۵۰ تن در هکتار و همچنین مواد آلی کاه و کلش به میزان یک درصد وزنی به خاک اضافه شد.

باید در نظر داشت در برخی از آزمایش‌های انجام شده، صفت مورد نظر در زمان‌های گوناگون اندازه‌گیری می‌گردد. به عبارتی بعد از اعمال تیمارها، صفت مورد نظر در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری می‌گردد و تیمار اختصاص یافته به هر یک از واحدهای آزمایشی در زمان‌های مختلف ثابت است. در این گونه آزمایش‌ها، مشاهده‌های هر واحد آزمایشی در زمان‌های

Popov et al., 2011; Noshadi et al., 2014; Nouri et al., 2014; Rigi and Farahbakhsh., 2019).

سرنوشت علف‌کش‌ها در خاک تحت تاثیر عوامل اقلیمی و خصوصیات خاک نظیر جذب، تجزیه، رواناب، تبخیر و آبشویی قرار دارد (Giuliano et al., 2021). جذب محتوای آلی خاک و محتوای خاک رس سرنوشت علف‌کش‌ها را در خاک تحت تاثیر قرار داده، به طوری که جذب سموم و علف‌کش‌های غیر یونی توسط خاک عمدتاً توسط محتوای ماده آلی خاک کنترل می‌شود (Sadeghzadeh et al., 2017). افزایش فعالیت میکروبی خاک میزان تخریب علف‌کش‌ها را افزایش و برعکس شرایطی که مانع از رشد میکروارگانیسم‌ها گردد، میزان تخریب را کاهش می‌دهد. لذا مواد اصلاح‌کننده خاک (مواد آلی) سبب جلوگیری از آبشویی سموم در خاک می‌گردد (Popov et al., 2017; Kadian et al., 2007; Sadeghzadeh et al., 2017). مواد آلی خاک با افزایش فعالیت میکروارگانیسم‌ها، تجزیه آفت‌کش‌ها را تسریع می‌کنند و از آبشویی آن‌ها جلوگیری می‌کنند (Mehdizadeh et al., 2016). بیوپچار (زغال استخوان گاو) به عنوان پالاینده برخی علف‌کش‌ها عمل می‌کند. ملندگاری سم ایمازاتاپیر در خاک‌های اسیدی بیشتر است، اما جذب آن تحت تاثیر رس و مواد آلی قرار نمی‌گیرد، هرچند برخی مطالعات ارتباط مستقیم بین رس، مواد آلی و جذب علف‌کش‌ها را نشان می‌دهند (Takeshita et al., 2019).

تحقیقات نشان داده‌اند که نوع بافت خاک و مواد آلی موجود در آن بر تجزیه علف‌کش‌ها تاثیر می‌گذارند. به عنوان مثال، تجزیه علف‌کش آترازین در خاک‌های رسی - سیلتی سریع‌تر از خاک‌های لومی - شنی است و افزودن کود آلی سرعت تجزیه را افزایش می‌دهد. مواد آلی می‌توانند به عنوان پالاینده علف‌کش‌ها در خاک عمل کنند (Izadi et al., 2008). تجزیه غیرزیستی متری بیوزین در لایه‌های سطحی خاک بیشتر از لایه‌های عمیق است و جذب گلیفوزیت نیز با افزایش عمق، کاهش می‌یابد (Kodesova et al., 2012).

مطالعات ستونی روشی رایج برای بررسی انتقال آلاینده‌ها در خاک است که مزایایی مانند عدم نیاز به جداسازی محلول از خاک، شبیه‌سازی شرایط مزرعه‌ای و هزینه کم دارد. امروزه، استفاده از این روش در جهان توجه ویژه‌ای را به خود معطوف داشته است که از آن جمله، می‌توان به بررسی رفتار آبشویی

(کاهوکلش) در این خاک‌ها از میزان بقایای گیاهی یا ماده آلی با پوشش گندم و جو در فصل زراعی قبل انتخاب شد. سطوح کود بیوچار گاوی و کود پوسیده گوسفندی هر کدام به میزان ۵۰ تن در هکتار استفاده گردید. همچنین علفکش نیکوسولفورون (کروز) به صورت پس رویشی در هنگام ۵ برگگی علف‌هرز گیاه قیاق به میزان دو لیتر در هکتار استفاده گردید. به منظور تهیه نمونه خاک در شهرستان‌های کوهدشت و خرم‌آباد، ۵۰ نمونه به طور تصادفی از کل زمین‌های آبی در مرکز هر شهرستان تهیه گردید. قبل از نمونه برداری، ابتدا ۵ سانتی‌متر روپین هر خاک را کاملاً کنار زده و از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر در هر نقطه نمونه خاک برداشت گردید. خاک از زمین‌هایی که از نظر بافت خاک، شیب، نحوه آبیاری، مدیریت کوددهی و الگوی کشت مشابه بودند، تهیه گردید. بعد از برداشت، تمام نمونه‌های خاک به روش مرکب با هم مخلوط و نمونه نهایی از آن برداشته گردید (Carter et al., 2008).

مختلف مربوط به یک تیمار هستند و تنها زمان اندازه‌گیری آن‌ها متفاوت می‌باشد. در اندازه‌های تکرار شده، علاوه بر تیمار، فاکتور زمان نیز به آزمایش افزوده می‌شود و لازم است که اثر آن تجزیه شود، اما نمی‌توان اثرات دو فاکتور تیمار و زمان را همانند آزمایش‌های فاکتوریل معمولی تجزیه و تحلیل نمود، زیرا اصولاً در اندازه‌های تکرار شده شرایط مورد نیاز یک آزمایش فاکتوریل وجود ندارد. علت آن است که در این گونه آزمایش‌ها، در هر زمان، تیمارها دوباره بین واحدهای آزمایشی قرعه‌کشی نمی‌شوند و در هر زمان امکان اختصاص تصادفی تیمارها وجود ندارد. تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به تحقیق حاضر نیز اندازه‌های تکرار شده در چارچوب آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی می‌باشد (Zamani, 2011).

از آنجا که گیاه ذرت در شهرستان‌های خرم‌آباد و کوهدشت به عنوان قطب کشاورزی استان لرستان به عنوان کشت دوم بعد از محصول گندم و جو می‌باشد، لذا میزان ماده آلی خاک

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های شیمیایی خاک و کودهای استفاده شده

Table 1- Some chemical properties of soils used

| مشخصات خاک Soil characteristics | خاک کوهدشت (S ₁) Soil of Kuhdasht (S1) | خاک خرم‌آباد (S ₂) Soil of Koohdasht (S2) | کود بیوچار گاوی Cattle biochar fertilizer | کود گوسفندی Sheep manure | کاهوکلش Straw |
|--|---|--|--|-----------------------------|------------------|
| بافت خاک soil texture | لومی-شنی Sandy Loam | لومی-رسی-شنی Sandy Clay Loam | - | - | - |
| رس Clay % | 16.7 | 21.72 | - | - | - |
| سیلت Silt % | 16.06 | 19 | - | - | - |
| شن Sand % | 67.24 | 59.28 | - | - | - |
| فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (ppm) | 4.69 | 5.81 | 1.27 | 1.13 | 0.8 |
| ازت کلی Total N % | 0.14 | 0.14 | 1.98 | 1.79 | 0.52 |
| درصد مواد آلی O.M % | 2.22 | 2.49 | 17.24 | 12.21 | |
| اسیدیته pH | 7.53 | 7.64 | 8.3 | 8.1 | 6.67 |
| هدایت الکتریکی EC dS/m | 0.79 | 0.99 | 15.24 | 12.88 | 5.12 |

۳۹ عدد ستون پلی‌اتیلن با قطر ۱۲ و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر استفاده شد. نمای کلی از ستون‌های پلی‌اتیلنی در شکل ۱ ارائه شده است.

طراحی ستون خاک

در اجرای این طرح به منظور کنترل هرچه مطلوب‌تر کلیه عوامل مؤثر بر تیمارها، با توجه به طرح آماری استفاده شده، از



شکل ۱- نمای کلی از ستون‌های پلی‌اتیلنی استفاده شده در تحقیق

Figure 1- Polyethylene columns used in the research

وجود منافذ بیش از حد بزرگ سبب ایجاد جریان ترجیحی در

ستون‌های خاک می‌گردد (Hosseinpour *et al.*, 2009).

برای پر کردن ستون‌ها از خاک، ابتدا ستون‌ها به ارتفاع حدود ۱۰ سانتی‌متر با ذرات ریگ در اندازه‌های مختلف پر گردید، سپس خاک‌های با بافت مختلف (با توجه به نوع خاک‌های آزمایشی در نظر گرفته شده) به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر ریخته شد. کودهای بیوجار و کود گوسفندی به‌میزان ۵۰ تن در هکتار و همچنین مواد آلی کاه و کلش در سطح یک درصد وزنی به خاک اضافه شد. ارتفاع نهایی خاک ۶۰ سانتی‌متر بود. فضای فوقانی ستون‌ها به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر به‌صورت عمق آزاد جهت افزودن آب آبیاری در نظر گرفته شد. نمای کلی از خاک درون لوله‌ها و همچنین فضای فوقانی ستون‌ها جهت افزودن آب آبیاری در شکل ۱ ارائه گردیده است. یادآور می‌گردد که جهت حصول به شرایط واقعی (از نظر تحکیم)، پر نمودن لوله‌ها، در طی چند مرحله و بدون هیچ‌گونه عملیات تراکمی خاصی صورت گرفت تا تراکم خاک ستون‌ها در حد شرایط طبیعی منطقه صورت گیرد (Marofi *et al.*, 2015).

برای جمع‌آوری زه‌آب، ظروف پلاستیکی به حجم ۲ لیتر در زیر لوله‌ها تعبیه شد (شکل ۱). پس از آماده‌سازی بستر کشت، در تاریخ ۱۳۹۹/۰۱/۲۳ گیاه ذرت و قیاق در ستون‌های خاک کشت گردید. یادآور می‌گردد، در این پژوهش گیاه ذرت، کشت اصلی و گیاه قیاق به‌عنوان علف‌هرز استفاده گردید.

مراحل پر شدن ستون‌ها با خاک

پس از طراحی و آماده‌سازی ستون‌های پلی‌اتیلنی در اندازه‌های مورد نظر، ابتدا به‌منظور انسداد بخش انتهایی ستون‌ها (جلوگیری از ورود ذرات خاک) و در عین حال برقراری امکان خروج آب، از یک لایه پارچه متقال که قبلاً شسته شده بود، استفاده شد. سپس در انتهای هر لوله درپوش پلاستیکی تعبیه و سه سوراخ با فواصل منظم و مساوی به‌منظور خروج یکنواخت زه‌آب ایجاد شد.

برای استقرار و تعادل عمودی لوله‌ها و همچنین جمع‌آوری آسان‌تر زه‌آب، قفسه‌های فلزی در دو طبقه طراحی و ساخته شد. قفسه‌های زیرین و رویین به‌ترتیب ۳۰ و ۸۰ سانتی‌متر (نسبت به کف زمین) ارتفاع داشتند. قفسه زیرین به‌گونه‌ای طراحی شد که قاعده لوله‌ها بر روی دو پروفیل فلزی (که دارای فاصله ۱۰ سانتی‌متر بودند) قرار می‌گرفت. اما طبقه رویین مشبک (۱۱×۱۱ سانتی‌متر) بود و به‌گونه‌ای طراحی گردید که در هر شبکه یک لوله قرار می‌گرفت.

به‌منظور پر نمودن ستون‌ها، از دو نوع خاک با بافت‌های لوم-رسی - شنی (خاک خرم‌آباد) و لوم- شنی (خاک کوه‌دشت) استفاده گردید. به‌منظور ایجاد شرایط یکنواخت در خاک مورد نظر و جداسازی ذرات درشت دانه آن، از الک با قطر روزه‌های یک سانتی‌متر استفاده گردید، جداسازی ذرات بیش از حد درشت، امکان یکنواختی بیشتر خاک را فراهم می‌آورد زیرا

عملیات آبیاری

به منظور تعیین حجم آبیاری بر اساس شرایط خاک از نظر جنس خاک و درصد تخلخل آن به میزان رشد گیاه و همچنین ابعاد لوله‌های پلی اتیلن قبل از کشت چندین بار بر روی لوله‌ها حجم‌های مختلفی از آب به کار برده شد. به گونه‌ای که هم نیاز آبی گیاه تأمین شود و هم آبشویی در انتهای لوله‌ها صورت گیرد. میزان آب مصرفی در هر دور آبیاری ۶۰۰ سی‌سی آب برای هر لوله بود. دوره آبیاری با استفاده از تشتت تبخیر و داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد، ۶ روز تعیین گردید. در مرحله چهارم برگری ذرت، علفکش کروز به میزان ۴ میکرولیتر به ستون‌های خاک اضافه شد. از زمان کاربرد علفکش در خاک، در پایان هر آبیاری، نمونه‌گیری از زه‌آب خروجی آب آبیاری انجام شد و نمونه‌ها در ظروف پلاستیکی درب‌دار در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

آماده‌سازی نمونه‌های آب‌های مصرفی و زه‌آب خروجی

برای آنالیز میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک، در هر برنامه آبیاری، نمونه‌هایی از زه‌آب خروجی از ستون خاک، با استفاده از ظروف پلاستیکی تهیه و به آزمایشگاه مرکزی شماره ۱ دانشگاه لرستان جهت آنالیز ارسال گردید. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نظیر بافت خاک به روش هیدرومتری، pH خاک در گل اشباع و هدایت الکتریکی به ترتیب توسط دستگاه pH متر (مدل WPA مارک CD500) و EC متر، درصد کربن آلی خاک به روش اکسیداسیون (نلسون و سامرز) و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک توسط هدایت‌سنج (مدل ۴۵۱۰ مارک JENWAY)، نیتروژن کل به روش کج‌لدال، فسفر توسط دستگاه اسپکتوفتومتر و میزان سم موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه HPLC طبق استانداردهای مشخص، انجام شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های اندازه‌گیری شده در نمونه‌های زه‌آب و خاک با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. میانگین داده‌های آزمایش با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد مقایسه شدند. برای ترسیم نمودارها از

نرم‌افزار Excel 2018 استفاده گردید.

نتایج و بحث

میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک

نتایج تجزیه واریانس میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون‌های خاک در جدول ۲ ارائه گردیده است. با توجه به نتایج، اثر نوع ماده آلی و زمان آبیاری و همچنین برهم‌کنش نوع ماده آلی و زمان آبیاری در سطح یک درصد ($p < 0.01$) و اثر نوع خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد ($p < 0.05$). نتایج تجزیه واریانس بیانگر غیر معنی‌دار بودن دیگر منابع پراکنش بر میزان غلظت علفکش خروجی در زه‌آب خروجی از ستون خاک می‌باشد.

نوع بافت خاک و مواد آلی موجود در آن بر تجزیه علفکش‌ها مؤثر می‌باشند و بر نیمه‌عمر علفکش اثرگذار هستند. تحقیقات نشان داده است که اثر بافت خاک بر تجزیه علفکش در خاک معنی‌دار است، به طوری که میزان تجزیه در خاک رس - سیلتی به مراتب بیشتر از خاک لومی - شنی است و مواد آلی نقش مهمی در سرعت تجزیه آترازین دارند و می‌توانند به عنوان پالایند این علفکش در خاک مورد استفاده قرار بگیرند (Izadi et al., 2008).

اثر نوع خاک بر میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک

مقایسه میانگین مقادیر علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک در اثر نوع خاک نشان داد، بالاترین میزان علفکش به خاک کوه‌دشت (S_1) و کمترین غلظت مربوط به خاک خرم‌آباد (S_2) می‌باشد که مقادیر مربوط به خاک کوه‌دشت از لحاظ آماری نسبت به خاک خرم‌آباد در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد (شکل ۲).

نتایج نشان داده است که عوامل اقلیمی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مولکول‌های سم، ویژگی‌های خاک، شیوه‌های کشت به ویژه خاک‌ورزی، زمان بندی و مقدار علفکش کاربردی بر میزان آبشویی سم اثرگذار هستند (Giuliano et al., 2021).

جدول ۲- تجزیه واریانس میزان علفکش موجود در زه آب خروجی از ستون های خاک

Table 2- Analysis of variance of herbicide content in drainage from soil columns

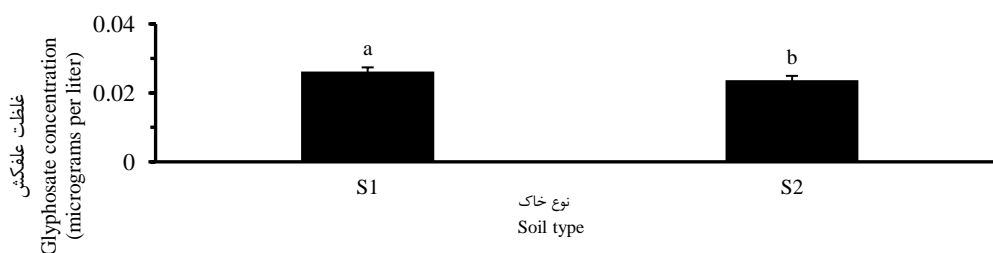
| منابع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مربعات |
|---|-------------------|--------------------------|
| Source of variation | Degree of freedom | Mean of squares |
| خاک | 1 | 0.00018155* |
| Soil | | |
| ماده آلی | 3 | 0.00864823** |
| Organic matter | | |
| خاک × ماده آلی | 3 | 0.00002935 ^{ns} |
| Soil × organic matter | | |
| زمان آبیاری | 4 | 0.00187784** |
| Time irrigation | | |
| خاک × زمان آبیاری | 4 | 0.00000185 ^{ns} |
| Soil × Irrigation Time | | |
| ماده آلی × زمان آبیاری | 12 | 0.00024188** |
| organic matter × Irrigation Time | | |
| خاک × ماده آلی × زمان آبیاری | 12 | 0.00000295 ^{ns} |
| Soil × organic matter × Irrigation Time | | |
| خطای آزمایش | 64 | 0.00003116 |
| Error | | |
| خطای کل | 119 | |
| Total error | | |

*, ** به ترتیب معنی دار در سطوح ۵، ۱ درصد و ns اختلاف غیر معنی دار

*, ** Significant differences at levels of 5, 1% and Ns: insignificant difference respectively

تجزیه و جذب در بافت رسی - سیلتی است (Forouzangahr *et al.*, 2005). براساس نتایج آزمایشات پیشین، بافت خاک آثار بسیار پیچیده‌ای بر تجزیه یا ماندگاری علفکش یا آفتکش‌ها در خاک دارد. میزان رس خاک از پارامترهای بسیار مهم بوده که هر چقدر درصد رس خاک بیشتر باشد، میزان جذب سطحی علفکش یا آفتکش بیشتر خواهد بود که این امر منجر به کاهش زیست‌فراهمی آن‌ها می‌شود (Jursík *et al.*, 2020). همچنین، رس موجود در ترکیب خاک، میزان هیدرولیز را در خاک افزایش می‌دهد که این فرآیند در طی شرایط اسیدی یا بازی به شدت افزایش خواهد داشت (Theng *et al.*, 2000).

محیط خاک از عوامل تاثیرگذار بر شسته شدن سموم علفکش است. با توجه به نتایج تحقیق، مشاهده می‌گردد که ویژگی‌های فیزیکی خاک از جمله بافت خاک تأثیر مشخصی بر سرعت تجزیه و جذب علفکش‌ها دارند. از آنجا که خاک خرم‌آباد نسبت به خاک کوهدشت دارای بافت سنگین‌تر (میزان رس بیشتری) می‌باشد، لذا تیمارهای (ستون‌های خاک) حاوی خاک خرم‌آباد نسبت به تیمارهای خاک کوهدشت، سبب جذب بیشتری از میزان سم شده و از تحرک سم به لایه‌های پایین‌تر جلوگیری کرده است. نتایج این تحقیق با نتایج دیگر محققان مطابقت دارد. برخی از پژوهشگران بیان داشتند که تجزیه و جذب علفکش در بافت لومی - شنی به مراتب کندتر از سرعت



شکل ۲- اثر نوع خاک بر میزان علفکش موجود در زه آب خروجی از ستون خاک (S₁: خاک کوهدشت و S₂: خاک خرم‌آباد)

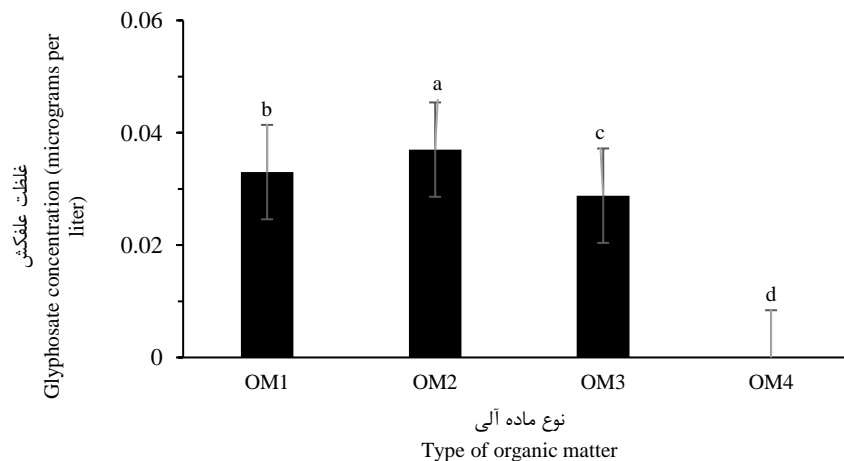
Figure 2- Effect of soil type on the amount of herbicide present in the effluent from the soil column (S₁: Kuhdasht Soil and S₂: Khorramabad Soil)

تحقیقات نشان داده است که اثربخشی سم متری‌بوزین در خاک با مقدار ماده آلی موجود در آن رابطه عکس دارد، به طوری که جذب این علفکش در خاک در حضور ماده آلی کاهش پیدا خواهد کرد (Rigi and Farahbakhsh., 2019). به طور کلی بین افزایش میزان رس و محتوای ماده آلی خاک و میزان جذب این خانواده علفکش ارتباط مستقیم وجود دارد (Takeshita et al., 2019).

استفاده از مواد آلی (کود دامی و بیوجار) در خاک سبب افزایش جذب سطحی و کاهش حرکت و آیشویی علفکش در ستون‌های خاک نسبت به خاک بدون مواد اصلاح‌کننده شده است. در مطالعه‌ی مشابه مشخص شد، افزایش میزان ماده آلی خاک سبب کاهش عمق آیشویی علفکش شده است، که با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد (Abdollahi et al., 2019; Avarseji et al., 2021).

اثر نوع ماده آلی بر میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک

نتایج مقایسه میانگین اثر نوع ماده آلی بر مقادیر علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج این شکل، بالاترین (۰/۰۳۷ میکروگرم در لیتر) میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک مربوط به کاه و کلش (O₂) و کمترین غلظت (۰/۰۰) مربوط به شاهد (O₄) می‌باشد. نتایج حکایت از اختلاف آماری معنی‌دار بین تمام سطوح ماده آلی به کار رفته از نظر میزان علفکش خروجی از ستون خاک در سطح ۵ درصد می‌باشد. ماده آلی خاک سبب نگهداری سم در خاک می‌گردد و از تحرک آن به لایه‌های پایین جلوگیری می‌کند، از آنجا که کود آلی بیوجار گاوی دارای ماده آلی بیشتری نسبت به دیگر مواد آلی داشت، لذا میزان سم موجود در زه‌آب خروجی از ستون‌های خاک حاوی این کود کمتر خواهد بود.



شکل ۳- اثر نوع ماده آلی بر میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک (OM1: کود گوسفندی، OM2: کاه و کلش، OM3: بیوجار و OM4: شاهد)

Figure 3- Effect of organic matter type on the amount of herbicide present in the effluent from the soil column (OM1: sheep manure, OM2: straw, OM3: biochar and OM4: control)

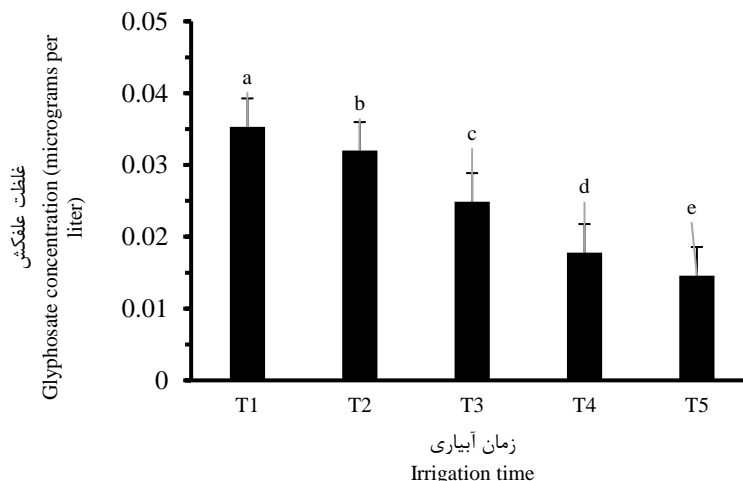
لحاظ آماری اختلاف بین تمام زمان‌های آبیاری در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد. به عبارت دیگر با گذشت زمان، از میزان سم موجود در زه‌آب کاسته می‌گردد. در این پژوهش مشاهده گردید که میزان علفکش زه‌آب خروجی در آبیاری اول (T₁) نسبت به آبیاری پنجم (T₅) بیشتر می‌باشد. دلیل روند نزولی میزان علفکش نسبت به زمان را

زمان آبیاری بر میزان علفکش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک

مقایسه میانگین مقادیر علفکش زه‌آب خروجی از ستون خاک در طول زمان در شکل ۴ ارائه گردیده است. نتایج نشان داد، بالاترین و کمترین میزان علفکش موجود در زه‌آب به ترتیب مربوط به آبیاری‌های اول (T₁) و پنجم (T₅) که از

اشاره کرد. بررسی‌های متعدد نشان داد که افزایش مواد آلی خاک، منجر به افزایش جمعیت و فعالیت میکروبی خاک و از جمله گونه‌های تجزیه‌کننده آلاینده‌های آلی در خاک می‌شود که نتیجه آن تجزیه بیشتر آلاینده در خاک می‌باشد (Maqueda et al., 2009). باید در نظر داشت که مکانیسم اثر مواد آلی خاک بر روند افزایش تجزیه آفت‌کش‌ها بسیار پیچیده است. اما اضافه کردن مواد آلی سبب ورود انواعی از ارگانوسم‌های جدید و مقادیر زیادی از انواع عناصر مثل کربن آلی، نیتروژن و غیره به محیط خاک می‌شود. عناصر غذایی می‌توانند موجب تحریک افزایش میکروبیوم‌های موجود در خاک شود (Mehdizadeh et al., 2016).

می‌توان به آبشویی و انتقال بیشتر علف‌کش به عمق خاک در مراحل قبل نسبت داد. در مقابل، در مطالعه‌ی مشابه مشخص گردید، پس از چهار مرحله آبیاری، شستشوی علف‌کش روند صعودی داشته است (Noshadi et al., 2014). باید در نظر داشت که خواص مختلف خاک‌های کشاورزی ممکن است منجر به الگوهای بسیار متفاوت شستشوی علف‌کش شود، اما آبشویی سموم به‌شدت به نوع خاک و نوع علف‌کش بستگی دارد (Giuliano et al., 2021). عوامل دیگری نظیر الگوی دما و رطوبت خاک ممکن است بر حرکت و شسته شدن سم از نیمرخ خاک پس از سمپاشی اثر گذار باشد (Milan et al., 2022). از دیگر دلایل کاهش غلظت میزان سم خروجی با تداوم آبیاری می‌توان به افزایش جمعیت و فعالیت میکروبی خاک



شکل ۴- اثر زمان آبیاری بر میزان علف‌کش موجود در زه آب خروجی از ستون خاک

Figure 4- Effect of irrigation time on the amount of herbicide in the effluent from the soil column

مختلف نشان داد از نظر مقدار علف‌کش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک، اختلاف بین تیمارهای OM_1T_2 ، OM_2T_2 ، OM_1T_3 ، OM_2T_3 ، OM_1T_4 ، OM_2T_4 ، OM_1T_5 ، OM_2T_5 و همچنین تیمارهای بدون استفاده از ماده آلی در سطح ۵ درصد آزمون دانکن معنی‌دار است. علی‌رغم غیرمعنی‌دار بودن اثر متقابل نوع خاک و نوع ماده آلی بر میزان علف‌کش خروجی از ستون خاک، نتایج نشان داد بالاترین (۰/۳۹ میکروگرم در لیتر) و کمترین (۰/۰ میکروگرم در لیتر) میزان علف‌کش خروجی از ستون خاک به ترتیب مربوط به تیمار OM_2T_4 و خاک‌های بدون استفاده از ماده آلی می‌باشد.

اثر متقابل منابع بر میزان علف‌کش موجود در زه‌آب خروجی از ستون خاک

به دلیل غیرمعنی‌دار بودن تمامی اثرات متقابل (به جز اثر متقابل نوع ماده آلی و زمان آبیاری) بر میزان علف‌کش خروجی از ستون خاک، صرفاً مقایسه میانگین بین اثر متقابل نوع ماده آلی و زمان آبیاری از نظر میزان علف‌کش خروجی از ستون خاک انجام گرفت (جدول ۳). با توجه به نتایج این جدول بالاترین (۰/۴۶) و کمترین (۰/۰) میزان علف‌کش خروجی از ستون خاک در تیمارهای OM_2T_1 و تیمارهای حاوی خاک شاهد مشاهده شد. نتایج حاصل از مقایسه بین تیمارهای

بهوضوح نشان می‌دهد که اصلاحات خاک می‌تواند تحرک علفکش را از طریق مشخصات خاک تحت تاثیر قرار دهد. به طوری که ضایعات آسیاب زیتون به عنوان یک اصلاح کننده خاک باعث کاهش تحرک و شستشوی S-metolachlor در خاک شده است (López-Piñero *et al.*, 2014).

محتوای کربن آلی بالای خاک، حرکت سموم آترازین و بروماسیل را از طریق پروفیل خاک محدود می‌کند (James *et al.*, 2022). درک فعل و انفعالات پیچیده بین علفکش و خاک موضوع بسیاری از مطالعات بوده است. نتایج نشان داده شده است که اصلاحات خاک بر ویژگی‌های تحرک علفکش‌های کاربردی در خاک تأثیر می‌گذارد. نتایج مطالعات مختلف

جدول ۳- اثر متقابل نوع ماده آلی و زمان آبیاری بر میزان علفکش (میکروگرم در لیتر) موجود در زه آب خروجی از ستون خاک

Table 3- Interaction between organic matter type and irrigation time on the amount of herbicide (micrograms per liter) in the effluent from the soil column

| نوع ماده آلی Organic matter type | زمان آبیاری Irrigation time | غلظت علفکش زه آب Concentration of herbicide in drainage | سطح ماده آلی Organic matter type | زمان آبیاری Irrigation time | غلظت علفکش زه آب Concentration of herbicide in drainage |
|---|--------------------------------|--|--|--------------------------------|--|
| OM ₁ (کود گوسفندی) (Sheep manure) | T ₁ | 0.046 ^{bc} | OM ₃ (بیوچار کود گاوی) (Beef manure biochar) | T ₁ | 0.041 ^{de} |
| | T ₂ | 0.044 ^{cd} | | T ₂ | 0.035 ^f |
| | T ₃ | 0.034 ^{de} | | T ₃ | 0.029 ^g |
| | T ₄ | 0.025 ^h | | T ₄ | 0.021 ^g |
| | T ₅ | 0.02 ⁱ | | T ₅ | 0.017 ⁱ |
| OM ₂ (کاه و کلش) (Straw) | T ₁ | 0.055 ^a | OM ₄ (شاهد بدون ماده آلی) (Control without organic matter) | T ₁ | 0.00 ^j |
| | T ₂ | 0.049 ^b | | T ₂ | 0.0 ^j |
| | T ₃ | 0.036 ^{ef} | | T ₃ | 0.00 ^j |
| | T ₄ | 0.025 ^h | | T ₄ | 0.0 ^j |
| | T ₅ | 0.021 ^{hi} | | T ₅ | 0.00 ^j |

OM_i: نوع ماده آلی، T_i: زمان آبیاری. در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی دار نمی‌باشد. OM_i: Organic matter type, T_i: Irrigation time. In each column, the averages with the same letters do not have a significant difference based on the Duncan test at the five percent probability level.

سمیت آن برای گیاهچه‌های گندم از بین خواهد رفت (Meng *et al.*, 2019). علاوه بر این، در تحقیقی دیگر بیوچار، فراوانی و تنوع گونه‌های مفید باکتریایی و قارچی گیاهی را در ریزوسفر گیاهچه‌های گندم افزایش داد (Yousaf *et al.*, 2018). برخی مطالعات نشان داده است که اصلاح بیوچار، فراهمی زیستی آفت‌کش‌ها را در خاک‌های کشاورزی کاهش می‌دهد (Khorram *et al.*, 2016; Cheng *et al.*, 2017). بنابراین جذب آن‌ها توسط گیاهان و سمیت سلولی را نیز کاهش پیدا می‌کند. معمولاً علفکش‌هایی با حلالیت بیشتر در آب، دارای ظرفیت جذب کمتری هستند که باعث می‌شود آن‌ها در خاک متحرک‌تر شده و در نتیجه بیشتر در معرض شستشو قرار گیرند. از طرف دیگر، ماندگاری علفکش‌ها در خاک بسیار متفاوت است و به فرآیندهای شیمیایی (فوتولیز، هیدرولیز، اکسیداسیون و کاهش) و بیولوژیکی (تبدیل غیرآنزیمی و آنزیمی)، دمای خاک و محتوای آب بستگی دارد (Duraes *et al.*, 2018; Swartjes and Van der Aa, 2020). باید در نظر

جذب، تخریب و انتقال، فرآیندهای اصلی مؤثر بر سرنوشت (ماندگاری و تحرک) علفکش‌ها در خاک است (Pérez-Lucas *et al.*, 2020). همچنین حرکت جذبی سموم آفت‌کش تحت تأثیر عواملی مانند محتوای خاک رس و مواد آلی (OM) و pH خاک قرار می‌گیرند. یافته‌های پژوهش نشان داد که نوع ماده آلی موجود در خاک بر میزان آبشویی علفکش تأثیر زیادی داشته و می‌تواند مقدار قابل توجهی از علفکش را در قسمت‌های حاوی مواد آلی نگهداری نماید، به طوری که نمونه‌های مورد آزمایش در این طرح که حاوی کود بیوچار بود (تیمارهای S₂OM₃)، به علت جذب سم، مقدار کمتری از علفکش مورد آبشویی واقع گردید. در صورتی که تیمارهای بدون ماده آلی و همچنین تیمارهای حاوی کود گوسفندی و کاه و کلش، مقدار آبشویی بیشتری قرار گرفتند. در این راستا، نتایج این تحقیق با نتایج برخی از محققین مطابقت دارد. در تحقیق مشخص شد، استفاده از بیوچار اصلاح شده در خاک، جذب علفکش در گندم را تا حد زیادی کاهش داده و در نتیجه

فیزیکوشیمیایی خاک همچون محتوای رس خاک، نوع مواد آلی و محتوای کربن آلی بستگی دارد. به‌طور کلی، نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد. (I) اثر ترکیبات مختلف مواد آلی از جمله کود گوسفندی، بیوجار و کاه‌کلش بر میزان جذب و آیشویی علف‌کش کروزمعنی‌دار بود. بالاترین میزان جذب علف‌کش در ستونهای خاک حاوی کود بیوجار و خاک منطقه خرم‌آباد مشاهده شد و کمترین میزان جذب در ستونهای حاوی خاک شاهد و همچنین ستونهای کاه‌کلش و خاک منطقه کوه‌دشت به‌دست آمد. (II) میزان رس خاک نقش بسیار مهمی در میزان جذب سم دارد، به‌طوری‌که خاک خرم‌آباد نسبت به خاک کوه‌دشت، به‌دلیل محتوی رس بیشتر، از تحرک سم جلوگیری می‌کند. (III) با تداوم آبیاری، از میزان سم خروجی از ستون خاک به‌وزه در ستونهای حاوی مواد آلی، به‌طور معنی‌داری کاسته می‌گردد، از دلایل این امر می‌توان به افزایش فعالیت و تجزیه میکروبی و همچنین آیشویی در آبیاری‌های اول اشاره کرد. (IV) از آنجا که آگاهی از سرنوشت آفت‌کش‌ها در محیط‌زیست شرط لازم برای به‌حداقل رساندن آلودگی منابع آبی توسط آفت‌کش‌ها بوده و از طرف دیگر، خاک به‌عنوان اصلی‌ترین بخش در پالایش و کم‌تحرکی سموم می‌باشد، استفاده از راهکارهای مدیریتی از جمله استفاده از پسماندهای آلی، به‌عنوان روشی مؤثر برای به‌حداقل رساندن آلودگی زیست‌محیطی در زمان استفاده از آفت‌کش‌ها را توصیه کرد

سپاسگزاری

از کارکنان محترم آزمایشگاه مرکزی شماره ۱ دانشگاه لرستان در جهت انجام آزمایشات مربوطه تشکر و قدردانی می‌گردد.

داشت، سرنوشت آفت‌کش‌های موجود در خاک تحت تأثیر فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی مختلفی است. جذب مهم‌ترین فرآیند بوده که سایر فرآیندها همچون تحرک، پایداری و تجزیه را تحت کنترل دارد. از آنجا که آگاهی از سرنوشت آفت‌کش‌ها در محیط‌زیست شرط لازم برای به‌حداقل رساندن آلودگی منابع آبی توسط آفت‌کش‌ها می‌باشد لذا به‌نظر می‌رسد، رفتار جذبی آفت‌کش‌های خاک، مربوط به برقراری پیوند بین آفت‌کش با ذرات رس و مواد آلی در خاک است. نتایج پژوهش حاضر نیز نشان می‌دهد که رفتار جذب سطحی و رهاسازی علف‌کش‌ها در خاک به ویژگی‌های خاک از جمله بافت خاک و محتوی ماده آلی خاک بستگی دارد، به‌طوری‌که خاک‌های با بافت سنگین‌تر (خاک خرم‌آباد) به‌دلیل محتوی رس بیشتر و همچنین خاکهای با محتوی ماده آلی بیشتر (بیوجار گاوی)، مقدار بیشتری از سم را جذب نموده است. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات سایر محققان مطابقت دارد (Rigi and farahbakhsh, 2019; Schneider et al., 2015; Gu et al., 2003). کمبودن میزان رس و ماده آلی، میزان جذب علف‌کش را کاهش می‌دهد (Noshadi et al., 2014). نتایج آزمایش دیگر نشان داد که جذب سطحی علف‌کش در تیمارهای خاک+ کود دامی و خاک+ بیوجار نسبت به تیمار شاهد (خاک) بالاتر بود که با یافته‌های پژوهش حاضر مطابقت داشت. پژوهشگران این تحقیق نتیجه‌گیری کردند که ترکیب مواد آلی با خاک منجر به کاهش حرکت رو به پایین علف‌کش در ستون خاک می‌شود (Abdollahi et al., 2019).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که رفتار جذب سطحی و رهاسازی علف‌کش کروزمعنی‌دار در خاک به ویژگی‌های

References

- Abdollahi, K., Movahedi Naeini, S.A., Barani Motlagh, M., Ebrahimi, P. and Roshani, Q., 2019. The effect of livestock manure and its biochar on the uptake and leaching of metribiosin in a loamy sand soil. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 9(2), pp.150-137. [In Persian]. <https://doi.org/10.22069/ejsms.2019.15991.1855>

- Albers, C.N., Jacobsen, O.S., Bester, K., Jacobsen, C.S. and Carvalho, P.N., 2020. Leaching of herbicidal residues from gravel surfaces e A lysimeter-based study comparing gravels with agricultural topsoil. *Environmental Pollution*, 266(3),115225. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115225>
- Avarseji, Z., Gholamalipour Alamdari, E. and Ajami T., 2021. evaluating the effect of soil organic matter on leaching depth of imazethapyr. *Journal of Plant Protection*, 34(4), pp.527-539. <https://doi.org/10.22067/jpp.2020.32839.0>
- Buerge, I.J., Kasteel, R. and Poiger, T., 2024. Leaching of herbicides and their metabolites in lysimeters filled with soils from railway tracks. *Science of the Total Environment*, 909, 168396. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168396>
- Carter, M.R. and Gregorich, E.G., 2008. Soil sampling and methods of analysis. 2nd ed, *Canadian Society of Soil Science*. <https://doi.org/10.1201/9781420005271>
- Cheng, J., Lee, X., Gao, W., Chen, Y., Pan, W. and Tang, Y., 2017. Effect of biochar on the bioavailability of difenoconazole and microbial community composition in a pesticide-contaminated soil. *Applied Soil Ecology*, 121, pp.185-192. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.10.009>
- Duraes, N., Novo, L.A.B., Candeias, C. and da Silva, E.F., 2018. Distribution, transport and fate of pollutants. In: Duarte, A.C., Cahada, A., Rocha-Santos, T. (Eds.), *Soil pollution: from monitoring to remediation*. Academic Press, London, UK, pp.29-56. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849873-6.00002-9>
- Erenstein, O. Jaleta, M., Sonder, K., Mottaleb, K. and Prasanna, B.M., 2022. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D Implications. *Food Security*, 14(5), pp.1295-1319. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01288-7>
- FAO, 2021. Food and agriculture organization corporate statistical database. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Forouzanahr, M., Haghnia, G., Kouchaki, A. and Tabatabai Yazdi, F., 2005. The effect of organic matter and soil texture on the degradation of atrazine and metamitron herbicides. *Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, 9(1), pp.140-131. [In Persian]. <https://dor.org/20.1001.1.24763594.1384.9.1.10.8>
- Genuis, S.J., Lane, K. and Birkholz, D., 2016. Human Elimination of organochlorine pesticides: Blood, urine, and sweat study. *BioMed Research International*, 1624643, <https://doi.org/10.1155/2016/1624643>
- Giuliano, S., Alletto, L., Deswarte, C., Perdrieuxa, F., Daydéa, J. and Debaeke, P., 2021. Reducing herbicide use and leaching in agronomically performant maize-based cropping systems: An 8-year study. *Science of the Total Environment*, 788(1), 147695. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147695>
- Gu, J. D., fan, Y. and Gu, J.D., 2003. Biodegradability of atrazine, cyanazine and dicamba under methanogenic condition in three soils of china. *Chemospher*, 52(9), pp.1515-1521. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(03\)00490-9](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(03)00490-9)
- Hosseinpour, A., Haghnia, G.H., Alizadeh, A. and Fotovat, A., 2009. Changes in chemical quality of percolating raw and treated municipal wastewaters through soil columns. *Water and Soil*, 23(3), pp.45-56. [In Persian]. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.2283>

- Izadi, E. Rashed Mohassel, M.H., Zand, E. Nassiri mohalati, M. and Lakzian, A., 2008. Evaluation of soil texture and organic matter on atrazine degradation. *Environmental Sciences*, 5(4). pp.64-53. [In Persian].
- James, T.K., Ghanizadeh, H., Harrington, K.C., Bolan, N.S., 2022. The leaching behaviour of herbicides in cropping soils amended with forestry biowastes. *Environmental Pollution*, 307, 119466, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119466>
- Jursík, M., Kočárek, M., Kolářová, M. and Tichý, L., 2020. Effect of different soil and weather conditions on efficacy, selectivity and dissipation of herbicides in sunflower. *Plant, Soil and Environment*, 66(9), pp.468-476. <https://doi.org/10.17221/223/2020-PSE>
- Kadian, N., Gupta, A., Satya, S., Kumari Mehta, R. and Malik, A., 2007. Biodegradation of herbicide (atrazine) in contaminated soil using various bioprocessed materials. *Bioresour Technology*, 99(11), pp.4642-4647. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.064>
- Khorrarn, M.S., Zheng, Y., Lin, D., Zhang, Q., Fang, H. and Yu, Y., 2016. Dissipation of fomesafen in biochar-amended soil and its availability to corn (*Zea mays* L.) and earthworm (*Eisenia fetida*). *Journal of Soil Sediment*, 16(10), pp.1-10. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1407-4>
- Kodesova, R., Kocarek, M., Hajkova, T., Hybler, M., Drabek, O. and Kodes, V., 2012. Chlorotoluron mobility in compost amended soil. *Soil Tillage Research*, 118(4), pp.88-96. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.014>
- López-Piñero, A., Peña, D., Albarrán, A., Sánchez-Llerena, J., Becerra, D., 2014. Longterm effects of olive mill waste amendment on the leaching of herbicides through undisturbed soil columns and mobility under field conditions. *Soil Tillage Research*, 144, pp.195-204. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.08.001>
- Maqueda, C., Villaverde, J., Sopena, F., Undabeytia, S. and Morillo, S., 2009. Effects of soil characteristics on metribuzin dissipation using clay-gel-based formulations. *Agricultural Food Chemistry*, 57(8), pp.3273-3278. <https://doi.org/10.1021/jf803819q>
- Marofi, S., Shakarami, M., Rahimi, G. and Ershadfath, F., 2015. Effect of wastewater and compost on leaching nutrients of soilcolumn under basil cultivation. *Agricultural Water Management*, 158, pp.266-276. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.05.007>
- Mehdizadeh, M., Ezadi, E., Naseri, M.T. and Rastgo, M., 2016. Influence of different organic fertilizers on metribuzin persistence in soil under controlled conditions. *Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 109, pp.132-139. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/aj.2016.106750>
- Meng, L., Sun, T., Li, M., Saleem, M., Zhang, Q. and Wang, C., 2019. Soil-applied biochar increases microbial diversity and wheat plant performance under herbicide fomesafen stress. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 171, pp.75-83. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.065>
- Milan, M., Vidotto, F. and Fogliatto, S., 2022. Leaching of glyphosate and AMPA from field lysimeters. *Agronomy*, 12(2), No.328. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020328>.
- Noormohamadi, Gh., Siadat, A. and Kashani, A., 2009. Cultivation volume one (Cereals). *Shahid Chamran University of Ahvaz Publications, Ninth Edition*. [In Persian].

- Noshadi, N., Homaei, M., Mahmoudian Shoshtari, M. and Abbasi, F., 2014. Transport and degradation of herbicides in soil in different irrigation systems. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 45(3), pp.255-266. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2014.52190>
- Nouri, M., Homaei, M. and Bybordi, M., 2014. Comparing petroleum and water hydraulic properties in soil. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources. Water and Soil Science*, 15 (66), pp.123- 134. [In Persian]. <https://dor.org/20.1001.1.24763594.1392.17.66.12.6>
- Pérez-Lucas, G., Gambín, M. and Navarro, S., 2020. Leaching behaviour appraisal of eight persistent herbicides on a loam soil amended with different composted organic wastes using screening indices. *Journal of Environmental Management*, 273, 111179. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111179>
- Popov, V.H., Cornish, P.S., Sultana, K. and Morris, E.C., 2005. Atrazine degradation in soils: the role of microbial communities, atrazine application history, and soil carbon. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 43(7), pp.861-871. <https://doi.org/10.1071/sr04048>
- Pot, V., Benoit, P., LeMenn, M., Eklo, O.M., Sveistrup, T. and Kvarnerc, J., 2011. Metribuzin transport in undisturbed soil cores under controlled water potential conditions: experiments and modeling to evaluate the risk of leaching in a sandy loam soil profile. *Pest Management Science*, 67(4), pp.397-407. <https://doi.org/10.1002/ps.2077>
- Rigi, M.R. and Farahbakhsh, M., 2019. Evaluation of leaching and degradation of metribuzin herbicide in different soils. *Iranian Soil and Water Research (Iranian Agricultural Sciences)*, 50(1), pp.1-12. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2018.203562.667435>
- Sadeghzadeh, F., Wahid, S.A. and Jalili, B., 2017. Sorption, degradation and leaching of pesticides in soils amended with organic matter: A review. *Advances in Environmental Technology*, 3(2), pp.119-132. [In Persian]. <https://doi.org/10.22104/aet.2017.1740.1100>
- Schneider, J.G., Haguwood, J.B., Song, E., Pan, X., Rutledge, J.M., Monke, B.J., Myers, D.F. Anderson, S.H., Eilersieck, M.R. and Xiong, X., 2015. Indaziflam effect on bermudagrass (*Cynodon dactylon* L. Pers.) shoot growth and root initiation as influenced by soil texture and organic matter. *Crop Science*, 55(1), pp.429-436. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.02.0155>
- Soltani, N., Dille, J., Burke, I., Everman, W., VanGessel, M., Davis, V. and Sikkema, P., 2016. Potential corn yield losses due to weeds in North America. *Weed Technology*, 30(4), pp.979-984. <https://doi.org/10.1614/wt-d-16-00046.1>
- Swartjes, F.A. and Van der Aa, M., 2020. Measures to reduce pesticides leaching into groundwater-based drinking water resources: an appeal to national and local governments, water boards and farmers. *Science of The Total Environmenyal*. 699, 134186. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134186>
- Takeshita, V., Mendes, K.F., Alonso, F.G., Tornisielo, V.L., 2019. Effect of organic matter on the behavior and control effectiveness of herbicides in soil. *Planta Daninha*, 37. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582019370100110>

- Theng, B.K.G., Kookana, R.S. and Rahman. A., 2000. Environmental concerns of pesticides in soil and groundwater and management strategies in oecania. In: P.M. Huang and I.K. Iskandar (Eds.), *Soils and Groundwater Pollution and Remediation. CRC Press. Boca Raton. Florida.*
- Yousaf, B., Liu, G., Abbas, Q., Ali, M.U., Wang, R., Ahmed, R., Wang, C., Al-Wabel, M.I. and Usman, A.R.A., 2018. Operational control on environmental safety of potentially toxic elements during thermal conversion of metal-accumulator invasive ragweed to biochar. *Journal of Cleaner Production*, 195, pp.458-469. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.246>
- Zamani, P., 2011. *Statistical Design in Animal Sciences*. Bu-Ali Sina University, 645 p. [In Persian].