مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره هشت، آبان ماه ۱۴۰۰(۲۰۷-۱۹۷)

بررسی آبشویی و ارزیابی حساسیت چند گونه گیاهی به آترازین با استفاده از روش‌های زیست‌سنجی و تجزیه شیمیایی

مرتضی رمضانپور[۱]

حمید صالحیان[۲*]

hamisalehian@gmail.com

اسماعیل بابانژاد[۳]

محمد رضوانی[٤]

تاریخ دریافت: ۹۹/۶/۱۱ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۱۱**

چکیده

زمینه و هدف: آترازین یکی از مهم‌ترین علف‌کش‌های مورد استفاده در ایران و جهان است که ضمن برخورداری از پایداری بالا، احتمال آلودگی آب‌های زیرزمینی و رواناب را به دنبال دارد. هدف از این آزمایش تعیین حساسترین گونه از بین هشت گونه گیاهی به آترازین و اندازه‌گیری حد آبشویی این علف‌کش بود.

روش بررسی: آزمایش اول در سال ۱۳۹۸ به منظور ارزیابی حساسیت هشت گونه گیاهی (کلزا، سویا، چچم، یولاف، گندم، علف‌قناری، تاج‌خروس و گندم) به بقایای آترازین با استفاده از شاخص GR_{50} (دز مورد نیاز علف‌کش برای کاهش ۵۰٪ ی رشد گیاه) انجام شد. آزمایش دوم نیز به منظور تعیین حد آبشویی علف‌کش آترازین انجام گرفت. سطوح تیمار علف‌کش آترازین عبارت بودند از شاهد (عدم کاربرد)، سطح معمول (۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار) و بالا (۲/۵ کیلوگرم در هکتار). تیمارهای یاد شده به ستون‌های خاک واقع در لوله‌های PVC به ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر تزریق شدند. بعد از گذشت سه روز خاک هر قطعه دو سانتی‌متری از ستون لوله جدا و هم زمان در معرض آزمون زیست‌سنجی و تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. در آزمایش اول از تجزیه رگرسیون پروبیت برای تشخیص حساسترین گونه به آترازین و در آزمایش دوم نیز با طرح پایه کاملا تصادفی از تجزیه واریانس داده‌ها استفاده شد.

یافته‌ها: آزمایش اول نشان داد که کلزا نسبت به سایر گونه‌ها حساسیت بیشتری به آترازین دارد. بررسی پروفیل توام تغییرات وزن گیاهچه کلزا و غلظت آترازین در اعماق مختلف خاک نشان داد که علف‌کش آترازین تا عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک نفوذ کرده است.

۱- دانشجوی دکتری علوم علف‌های هرز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر.

۲- استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر.* (مسوول مکاتبات)

۳- استادیار گروه بهداشت، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی مازندران.

۴- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر.

بحث و نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد تجمع آترازین تا عمق ۱۰ سانتی‌متری به دلایلی چون مقدار ماده آلی و درصد رس بیشتر در این لایه می‌باشد. با توجه به حداکثر بانک بذور علف‌های هرز در مزرعه مورد آزمایش در لایه‌های سطحی خاک، استفاده از علف‌کش آترازین در این قطعه آزمایشی می‌تواند کارایی کنترل علف‌های هرز را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی : آبشویی، آترازین، تجزیه شیمیایی، زیست سنجی.

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 8, November, 2021

Evaluation of leaching and sensitivity in some plant species to atrazine using bioassay and chemical methods

Morteza Ramezanpoor[1]
Hamid Salehian[2*]
hamisalehian@gmail.com
Esmaeil Babanezhad[3]
Mohammad Rezvani[4]

Admission Date: June 1, 2021 Date Received: September 1, 2020

Abstract

Background and Objective: Atrazine is one of the most important herbicides in the world and Iran, which has high stability and is likely to contaminate runoff and groundwater resources. The aim of this experiment was to determine the most sensitive of the eight plant species to atrazine and to measure the leaching front of this herbicide.

Material and Methodology: The first experiment did in order to sensitivity assessment of eight plant species (Canola, Soybean, Ryegrass, Wild Oat, Wheat, Canarygrass, Redroot Pigweed, and Corn) to simulated atrazine residues by GR_{50} index (the required dose of herbicide to reduce plant growth by 50%) at 2019. The second experiment was conducted to determine leaching front of atrazine. Levels of atrazine treatments were: control, usual dose (1.25 $kg.h^{-1}$) and high dose (2.5 $kg.h^{-1}$). The treatments were injected into soil columns in 32 cm height PVC pipes and after three days, all 2 cm pieces of soil columns were exposed to bioassay and chemical analysis, simultaneously.

In the first experiment probit regression analysis was used to identify the most atrazine-sensitive species and in second experiment with completely randomized basic design the data were investigated by regression analysis.

Findings: First experiment showed that canola was more susceptible to atrazine compared to other species. Evaluation of canola seedling weight profile and atrazine concentration simultaneously at different depths of soil showed that atrazine penetrated to 10 cm depth.

Discussion and Conclusion: It seems that atrazine accumulation to 10 cm depth is related to higher organic matter and clay content. Due to the fact that the maximum weed seed bank was located in the surface layers of the soil, application of atrazine herbicide in this field can increase the efficiency of weed control.

Key words: Atrazine, bioassay, chemical analysis, leaching.

1- PhD Student, Department of Agronomy, College of Agriculture and Natural Resources, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.
2- Department of Agronomy, College of Agriculture and Natural Resources, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran. *(*Corresponding Author*)
3- Department of Environmental Health, Faculty of Health, Mazandaran University of Medical Sciences.
4- Department of Agronomy, College of Agriculture and Natural Resources, Qaemshahr Branch, Islamic Azad University, Qaemshahr, Iran.

مقدمه

گرچه علف‌کش‌ها به عنوان مهم‌ترین روش در مبارزه با علف-های هرز محسوب می‌شوند (۱)، اما ممکن است بقایای آنها در محیط اثرات زیان‌بار زیست محیطی و زراعی نیز داشته باشد (۲). آترازین مهم‌ترین و پرکاربردترین علف‌کش خانواده تریازین‌های متقارن است که با وجود قدمت زیاد، به خاطر ویژگی‌هایی از جمله طیف وسیع علف‌کشی و دوره کنترل زیاد هنوز هم در بسیاری از نقاط دنیا (۳) و ایران (۴) به عنوان یک علف‌کش انتخابی برای کنترل علف‌های هرز ذرت، به کار می‌رود (۵). پایداری نسبتا بالای این علف‌کش در خاک ضمن این که احتمال آلودگی منابع آب زیرزمینی و رواناب‌ها را افزایش می-دهد (۶) محدودیت تناوب زراعی در محصولات زراعی حساس به این علف‌کش را نیز زیاد می‌کند (۱).

برخی محققان به بیان حساسیت گیاهی به علف‌کش‌ها با استفاده از پارامترهایی نظیر ED_{50}، ID_{50} یا GR_{50} پرداخته-اند (۷). GR_{50} دز مورد نیاز علف‌کش برای کاهش ۵۰٪ رشد گیاه حساس است (۸). در آزمایشی به منظور زیست‌سنجی پسماند علف‌کش‌های آترازین، نیکوسولفورون، فورام سولفورون، نیکوسولفورون + ریم‌سولفورون، ریم‌سولفورون + فورام‌سولفورون در زمین تحت کشت شاهی (*Lepidium sativum*)، مشاهده شد که در تیمار آترازین، شاهی کم‌ترین میزان جوانه‌زنی، طول و وزن خشک شاخساره را دارا بود (۹). در مطالعه‌ای که به منظور بررسی پاسخ ۲۲ گیاه زراعی و علف‌هرز به بقایای شبیه-سازی شده آترازین انجام شد، مشاهده شد که علف قناری، جو، چاودار، شبدر، آفتابگردان و گندم به ترتیب حساس‌ترین گیاهان هستند (۱۰).

انتقال آفت‌کش‌ها فرآیند مهمی است که سرنوشت آنها را در خاک تعیین می‌کند. هر چند که فرآیندهای عمده موثر بر انتقال علف‌کش‌ها در خاک شامل جذب و حلالیت آنهاست، اما حرکت آنها به وسیله خصوصیات شیمیایی علف‌کش، خصوصیات خاک و صفات هیدرولیکی و اقلیمی تعیین می‌گردد (۱۱). فاکتورهای خاکی موثر بر خاصیت سمی آترازین به طور گسترده‌ای مورد تحقیق قرار گرفته‌اند (۱۲). کوندا و پاستور (۱۳) در بررسی توان ماندگاری و آبشویی علف‌کش‌های آترازین، استولاکلر، کلرپیریفوس و پروپیروفوس مشاهده کردند که آترازین نسبت به سه علف‌کش دیگر بیشترین آبشویی را داشت. آزمایش‌ها نشان داده‌اند سهم ماده آلی خاک در مورد کاهش فعالیت آترازین از مقدار رس بیشتر است (۱۴). اولیورا و همکاران (۱۵) آترازین، سیمازین و دایکامبا را بسته به نوع خاک (مواد معدنی و رس) متحرک یا کمی متحرک و علف-کش‌های سولفونیل اوره را متحرک دانستند و مشاهده کردند که با افزایش مواد آلی و رس خاک ضریب جذب آترازین (K_{oc}) افزایش و آبشویی علف‌کش‌های آترازین ، آلاکلر و سیمازین کاهش یافت.

روش‌های تجزیه شیمیایی نسبت به روش‌های زیست سنجی از دقت بیشتری برای تعیین مقادیر کم علف‌کش برخوردارند (۱۶). با وجود این روش‌های زیست‌سنجی دارای مزایایی چون معرفی علف‌کش‌هایی با سمیت کم و اندازه‌گیری قابلیت دسترسی زیستی به سموم می‌باشد (۱۷). آزمون‌های سبز شدن بذور و قدرت رویشی آنها از متداول‌ترین آزمون‌ها برای برآورد خسارت سمیت علف‌کش‌هاست. اما یکی از مهم‌ترین پارامترهای اندازه‌گیری، تعیین قابلیت حیات و قدرت گیاهچه برای تولید بذر است. بدین منظور آزمون چرخه زندگی کلزا پیشنهاد شده است (۱۸).

این مطالعه در دو آزمایش جداگانه به ترتیب به منظور شناسایی حساسترین گونه گیاهی از بین هشت گیاه به بقایای شبیه سازی شده آترازین و تعیین حد آبشویی (leaching front) علف‌کش آترازین با استفاده از روش‌های زیست سنجی و تجزیه آزمایشگاهی انجام شد.

روش بررسی

آزمایش اول:

به منظور مقایسه واکنش و حساسیت هشت گونه گیاهی (Corn, Redroot pigweed, Canarygrass, Wheat, Wild oat, Ryegrass, Soybean, Canola) به بقایای آترازین در خاک، آزمایشی در سال ۱۳۹۸ در دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر انجام شد. خاک مورد نظر از یک قطعه ۱۰ هکتاری از ایستگاه زراعی بایع کلا از

توابع شهرستان نکا که مورد کشت تابستانه ذرت بود تهیه شد. مقدار معینی از این خاک که در معرض هوا، خشک شده بود در داخل گلدان‌های پلاستیکی کوچک ریخته شد (با توجه به هشت گونه گیاهی و سه تکرار کلا ۲۴ گلدان استفاده شد). در هر گلدان ۱۰۰ گرم خاک قرار گرفت. سپس ۱۰ بذر از هر گونه گیاهی (در هر گلدان فقط یک گونه وجود داشت) در عمق مناسب در هر یک از گلدان‌ها کاشته شد. سپس علف‌کش آترازین بر اساس وزن خاک به طوری که دامنه وسیعی از دزها در گلدان‌های مختلف ایجاد شود به خاک گلدان‌ها اضافه شد (تیمارها عبارت بودند از ۰، ۰/۰۸۸، ۰/۱۷۷، ۰/۳۵، ۰/۷۱، ۱/۴۲، ۲/۱۳ و ۲/۸۴ میلی‌گرم آترازین در کیلوگرم خاک). دز معمول استفاده از آترازین ۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار (Gesaprim 80% WP) و معادل ۰/۷۱ میلی‌گرم علف‌کش در هر کیلوگرم خاک بود. مقادیر علف‌کش همراه با آب آبیاری (۴۰ تا ۶۰ میلی‌لیتر آب مقطر) تا رساندن محتوای رطوبتی خاک به ۸۰ تا ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تزریق شدند. گلدان‌ها به اتاقک رشد منتقل شده و در معرض دوره روشنایی ۱۲ ساعته قرار گرفتند. بعد از سبز شدن در مورد برگ باریک‌ها پنج بوته و برای برگ‌پهن‌ها سه بوته در هر گلدان نگه داشته شد و بقیه بوته‌ها حذف شدند. با توجه به این که وزن تر، معیار زیست‌سنجی بود، برای مدت یک هفته زمینه رشد برای گیاهان فراهم شد. برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته شد. بعد از دوره رشد مورد نظر گلدان‌ها از اتاقک رشد خارج و ریشه‌های گیاهان با استفاده از شستشوی خاک جدا شدند. سپس اقدام به اندازه‌گیری طول ریشه و ساقه‌چه و وزن ریشه و ساقه‌چه گردید. پارامترهای رشدی به مقادیر پروبیت (Y) تبدیل شدند و در مورد مقادیر دز (D) نیز تبدیل لگاریتمی (Log D) صورت گرفت. بین لگاریتم دز (Log D) و مقادیر پروبیت (Y) رابطه رگرسیونی خطی بسط داده شد:

$$Y= a + b \text{ Log } D$$

سپس از فرمول زیر برای محاسبه GR_{50} استفاده گردید (۱۹):

$$GR_{50} = \text{Antilog } ((5 - a) \div b)$$

در این آزمایش تعداد تیمارها (گونه‌ها) هشت عدد بود. تجزیه رگرسیون داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS انجام شد.

آزمایش دوم:

این آزمایش در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر و بخشی نیز در مرکز رشد و فناوری دانشگاه علوم پزشکی ساری در سال ۱۳۹۸ به منظور بررسی فرایند آبشویی علف‌کش آترازین از طریق روش‌های زیست-سنجی و تجزیه شیمیایی انجام گرفت. خاک مورد آزمایش از قطعه ۱۰ هکتاری اشاره شده در آزمایش اول که به مدت چند سال زیر کشت ذرت قرار داشته جمع‌آوری گردید.

جهت مطالعه رفتار آبشویی آترازین از روش ستون‌های خاک دست نخورده استفاده شد (۲۰). جهت تهیه ستون‌های خاک از استوانه‌هایی با قاعده تیز و جنس استیل به ارتفاع ۳۲ و قطر ۱۰ سانتی‌متر که با ضربه پتک به درون خاک بطور عمودی وارد می‌شدند استفاده گردید. به منظور تسهیل در نمونه‌برداری این عمل در شرایط ظرفیت زراعی خاک صورت گرفت. پس از بیرون آوردن استوانه‌ها از خاک، مقاطع بالا و پایین آنها با پارچه جهت جلوگیری از تبخیر پوشانده و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس نمونه‌های خاک با دقت به درون لوله‌هایی از جنس PVC با همان ارتفاع و قطر انتقال یافتند. لوله‌های PVC شامل ۱۶ قطعه حلقه به ارتفاع دو سانتی‌متر و قطر ۱۰ سانتی-متر بوده که با استفاده از نوار چسب به هم متصل شدند. برای نگهداری خاک، کف استوانه با استفاده از پارچه کتانی پوشیده گردید. فضایی به عمق دو سانتی‌متر نیز در بخش بالایی استوانه خالی نگه داشته شد. عمل نمونه‌برداری در قطعه‌ای صورت گرفت که مورد پاشش علف‌کش آترازین واقع نبود. برخی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۱ آورده شده است.

تیمار دز علف‌کش آترازین شامل سه سطح شاهد (بدون کاربرد)، معمول (۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار) و بالا (۲/۵ کیلوگرم در هکتار) اعمال گشت. مقدار محاسبه شده علف‌کش (بر اساس سطح خاک)، همراه و مخلوط با ۶۵۰ میلی‌لیتر آب دی‌یونیزه شده (این حجم از آب مقطر بخاطر اطمینان از آبشویی علف-کش و طبق آزمایش‌های اولیه منظور گردید) روی ستون خاک

ریخته شد. جهت پخش یکنواخت آب روی هر ستون یک کاغذ صافی گذاشته شد.

بعد از گذشت سه روز و اطمینان از واکنش علف‌کش با خاک هر حلقه یا قطعه دو سانتی‌متری از ستون لوله PVC ، با کارد بریده و محتویات خاک آن به ظروف پلاستیکی (گلدان‌های کوچک) منتقل و تعداد ۱۰ بذر کلزا در عمق یک سانتی‌متری کاشته و حدود ۸۰ میلی‌لیتر آب به هر یک از آنها داده شد (۱۹). گلدان‌ها روزانه آب داده شد و هر دو روز جهت حفظ مقدار رطوبت خاک در حد ۷۵ درصد ظرفیت زراعی توزین شدند. گلدان‌ها در آزمایشگاه با دماهای ۲۵/۱۸ درجه سانتی-گراد و ۱۲ ساعت طول روز نگهداری شد و بعد از هفت روز گیاهچه‌ها برداشت و طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه و وزن تر ریشه‌چه آنها اندازه گرفته شد.

برای استخراج باقی‌مانده علف‌کش در هر لایه از ستون خاک، ۵۰ گرم از خاک مورد نظر توزین و در داخل ارلن مایر ۲۵۰ میلی‌لیتری ریخته و پس از اضافه کردن ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول متانول: آب خالص به نسبت ۷۰ :۳۰ به مدت دو ساعت با استفاده از یک شیکر افقی با سرعت ۲۳۰ دور در دقیقه و در دمای اتاق تکان داده شد. پس از رسوب خاک، سوسپانسیون و مخلوط حاصل به وسیله کاغذ صافی واتمن شماره ۴۲ صاف و قبل از تزریق عصاره‌ها به دستگاه HPLC ، پنج میلی‌لیتر عصاره از فیلتر سرنگی ۰/۲ میکرومتری عبور داده شدند (۶). دستگاه HPLC از نوع Shimadzu d.C4A با یک ستون فاز معکوس ODS(C18) (۴/۶ mm × ۱۵ mm) بود. فاز متحرک محلول متانول : آب دیونایز با نسبت حجمی ۴۰ : ۶۰ بود که با شدت جریان یک میلی‌لیتر در دقیقه مورد استفاده قرار گرفت. حجم عصاره تزریق شده به سیستم ۵۰ میکرولیتر بود و دستگاه آشکارساز HPLC از نوع UV-VIS spectrophotometric Detector SPD-2AS بود که طول موج مورد استفاده به منظور حداکثر آشکارسازی آترازین ۲۲۰ نانومتر انتخاب شد. دمای تزریق به ستون نیز همان دمای اتاق و با حد تشخیص یک میلی‌گرم بر لیتر بود (۲۱). قبل از تزریق نمونه‌های مجهول به دستگاه، محلول استاندارد تهیه و پس از تزریق به دستگاه، محل ظهور پیک آترازین مشخص شد. به طورکلی آزمایش دوم دارای ۱۸ ستون خاک بود. نه ستون اول برای سه تیمار دز علف‌کش (شامل شاهد، دز معمل و دز بالا) با احتساب سه تکرار برای هر دز، و متعاقبا فقط برای آزمایش‌های زیست سنجی در نظر گرفته شد. برای نتایج این قسمت تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD و در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. و نه ستون دیگر نیز به منظور آزمون تجزیه خاک و اندازه‌گیری مقدار آترازین و نهایتا فقط برای رسم تغییرات اندازه آن در اعماق مختف خاک، مورد استفاده قرارگرفتند. برای رسم نمودار این بخش نیز از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج

بقایای آترازین، جوانه‌زنی هیچ‌یک از گیاهان مورد مطالعه را تحت تاثیر قرار نداد و علائم خسارت پس از سبز شدن و استقرار مشاهده شد. بر اساس نتایج آزمایش شاخص GR_{50} در کلزا کمترین مقدار بود (جدول ۲). به عنوان مثال در صورتی که علف‌کش آترازین به میزان ۰/۵۸ میلی‌گرم در کیلوگرم در چنین خاکی به کار رود، سبب کاهش ۵۰ درصدی رشد گیاه کلزا می‌شود. با توجه به این که در آزمایش اول از بین گونه‌های گیاهی، کلزا حساستر از بقیه به باقی مانده آترازین تشخیص داده شد، در آزمایش دوم که به منظور بررسی آبشویی آترازین در خاک همان مزرعه انجام گرفت، از کلزا به عنوان گیاه محک در زیست‌سنجی استفاده شد.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

Table 1. Some physical and chemical properties for farm soil tested.

هدایت الکتریکی (mmhos/cm)	ماده آلی (درصد)	کربن آلی(درصد)	جرم مخصوص ظاهری($g.cm^3$)	ظرفیت تبادل کاتیونی (meq/100 g)	ماسه (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)
۱/۰۱	۲/۹۲	۱/۷۰	۱/۸	۲۹/۶	۳۸	۳۲	۳۰

جدول ۲- مقادیر GR_{50} براساس وزن تر (مجموع ریشه‌چه و ساقه‌چه) برای تمام گونه‌های مورد آزمایش.

Table 2. GR_{50} amounts on the basis fresh weight (total root and caulicle) for all the experimented plants

Brassica napus	*Glycine max*	*Lolium perenne*	*Avena fatua*	*Triticum aestivum*	*Phalaris minor*	*Amaranthus retroflexus*	*Zea mays*
۰/۵۸†(۰/۰۷)	۰/۷۰ (۰/۰۶)	۱/۲۰ (۰/۰۹)	۳/۳۸(۰/۳۰)	۳/۷۸ (۰/۲۵)	۱۰/۸۶(۰/۶۷)	۱۱/۲۷ (۰/۸۰)	۱۲/۱(۰/۷۵)

† هر عدد میانگین سه تکرار است. انحراف معیار درون پرانتز نمایش داده شده است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تاثیر آترازین بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار است (جدول ۳). با افزایش غلظت آترازین طول ساقه‌چه و ریشه کلزا کاهش یافت (جدول ۴). در مورد صفات وزن ساقه‌چه، وزن ریشه، نسبت وزن ریشه به ساقه‌چه و وزن ریشه + وزن ساقه‌چه تفاوت معنی‌داری بین تیمار شاهد و دز معمول (۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار) استفاده از آترازین وجود نداشت. اما در مورد تمام صفات اندازه‌گیری شده در بیشترین مقدار کاربرد آترازین (۲/۵ کیلوگرم در هکتار)، کمترین مقادیر به دست آمد (جدول ۳). خسارت وارد آمده در دزهای مختلف آترازین به طور چشمی نیز قابل رویت بود. به نظر می‌رسد که کاربرد علف‌کش آترازین در دز بالا به شدت بر صفات اندازه‌گیری شده تاثیر کاهنده داشته است. پیوستگان و فرح بخش (۲۴) و واکر و همکاران (۲۵) نیز گزارش داده‌اند که کاهش طول گیاهچه یکی از نشانه‌های مهم کاربرد آترازین در گیاه محک می‌باشد.

جدول ۳- تجزیه واریانس تعدادی از شاخص‌های رشد گیاهچه کلزا در دزهای مختلف آترازین

Table 3. Analysis of variance some criterion seedling traits (canola) in various atrazine doses

میانگین مربعات							
منابع تغییر	درجه آزادی	طول گیاهچه	طول ریشه چه	وزن ساقه چه	وزن ریشه چه	نسبت ریشه به ساقه	مجموع ریشه و ساقه
دز آترازین	۲	۲۱/۲۰۵۸**	۷/۶۶۸۶**	۰/۹۰۴۳**	۰/۰۱۸۱**	۱/۲۰۳۳**	۰/۰۰۱۵**
خطا	۶	۳/۴۵۶۸	۰/۷۶۵۴	۰/۱۸۸۴	۰/۰۰۱۹	۰/۲۲۶۷	۰/۰۰۰۳
ضریب تغییرات(٪)		۲۴/۶۵	۱۶/۷۲	۲۷/۶۴	۳۰/۹۸	۲۷/۶۱	۱۹/۸۳

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

** significant at p< 1%

جدول ۴- مقایسه میانگین بعضی از شاخص‌های رشد کلزا در دزهای مختلف آترازین

Table 4. Mean comparisons for some criterion seedling traits(canola) in various atrazine doses.

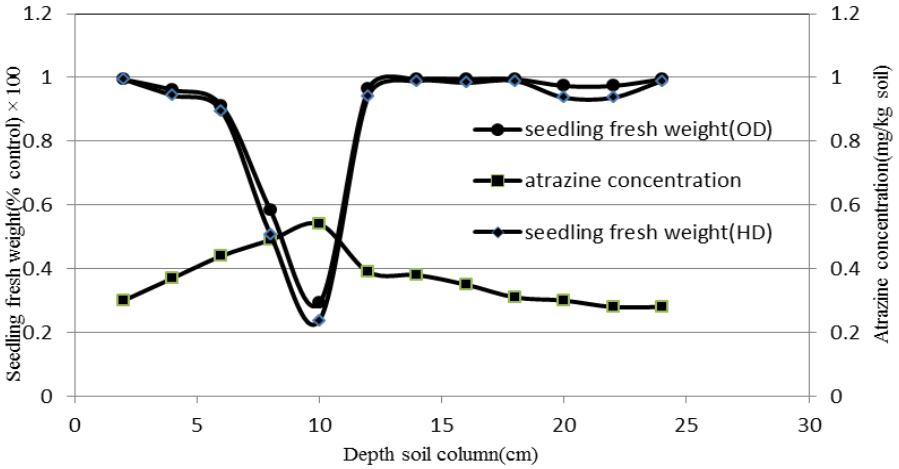
	طول ساقه‌چه (سانتی‌متر)	طول ریشه‌چه (سانتی‌متر)	وزن ساقه‌چه (گرم)	وزن ریشه‌چه (گرم)	نسبت ریشه به ساقه	مجموع ریشه و ساقه(گرم)
تیمار			میانگین			
شاهد	a ۷/۸۸	a ۵/۸۰	ab ۱/۶۰	b ۰/۱۴	ab ۰/۰۸	ab ۱/۷۶
دز معمول	ab ۷/۵۱	a ۵/۵۷	a ۱/۸۲	a ۰/۱۸	a ۰/۱۰	a ۲/۰۱
دز بالا	b ۶/۲۲	b ۴/۳۱	b ۱/۲۷	b ۰/۱۰	b ۰/۰۷	b ۱/۳۸

حروف مشابه در هر ستون نشانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در بین میانگین تیمارهاست.

دز معمول: شامل کاربرد ۱/۲۵ کیلوگرم در هکتار و دز بالا: ۲/۵ کیلوگرم در هکتار گزاپریم ۸۰ درصد بصورت پودر وتابل بود.

به منظور تشریح نفوذ آترازین به لایه‌های مختلف خاک ضمن استناد به نتایج آزمون زیست‌سنجی، پروفایل تغییرات غلظت علف‌کش از طریق اندازه‌گیری شیمیایی نیز بررسی شد. در میان خصوصیات اندازه‌گیری شده گیاه محک کلزا، صفت مجموع وزن تر ریشه و ساقه‌چه انتخاب شد. این خصوصیت، قابلیت بالاتری برای ردیابی اثرات سمی آترازین دارد (۲۷). از این روی مقادیر این صفت برای تمامی قطعات دو سانتی‌متری ستون خاک و تیمار شده در دزهای معمول و دو برابر، به صورت درصدی از مقادیر مربوط به قطعات متناظر در ستون خاک تیمار نشده (شاهد) تبدیل شدند. چنین مقادیر درصدی، به صورت تابعی از عمق ستون خاک ترسیم شدند (شکل ۱).

اندازه‌گیری مقدار آترازین درلایه‌های خاک با استفاده از روش استخراج محلول متانول در آب (۶) وکارایی استخراج ۷۷ درصد، نشان داد که تا عمق ۱۰ سانتی‌متری غلظت آترازین افزایش (۰/۵۴ $mg.kg^{-1}$) و سپس تا کمترین حد خود (۰/۲۸ $mg.kg^{-1}$) در حد لایه‌های سطحی، کاهش می‌یابد (شکل ۱). ظاهرا افزایش غلظت آترازین تا عمق ۱۰ سانتی‌متری توسط تجزیه شیمیایی با نتایج زیست‌سنجی انطباق دارد. خلیل و همکاران (۱۶) نیز به همبستگی زیاد نتایج آزمون زیست سنجی در مورد چند گونه گیاهی با روش تجزیه شیمیایی خاک آلوده به تریفلورالین پی برده‌اند.



شکل ۱- تغییرات وزن تر گیاه محک کلزا و غلظت آترازین در اعماق مختلف ستون خاک

Figure 1. Variation canola fresh weight and measured atrazine concentrations in different depths of soil column

بحث

در اغلب مطالعات تغییرات رشد گیاهچه (مجموع وزن تر ریشه و ساقه‌چه) در پاسخ به بقایای علف‌کش در خاک از مهمترین پارامترهای ارزیابی حساسیت گونه‌های گیاهی به شمار می‌رود (۱۹ و ۷). در آزمایش‌های زیست‌سنجی بقایای علف‌کش‌ها در خاک، از شاخص‌های مختلفی به ویژه GR_{50} برای تعیین ضریب حساسیت گیاهان به علف‌کش‌ها استفاده می‌شود (۸). هالوی و همکاران (۲۲) نیز گزارش کردند که در بین گیاهان زراعی کلزا، نخود، عدس و یونجه، کلزا حساسترین گیاه به بقایای ایمازتاپیر بود. همچنین به منظور ارزیابی حساسیت نه گیاه زراعی به بقایای آترازین در خاک در یک آزمایش زیست سنجی در شرایط گلخانه‌ای، ایزدی و همکاران (۲۳) با استفاده از شاخص ED_{50} ترتیب حساسیت گیاهان را از کمترین به بیشترین بدین ترتیب بدست آوردند: نخود < لوبیا < عدس < چغندرقند < گوجه فرنگی < جو < گندم < کلزا < پیاز. این نتایج نشان از آسیب‌پذیری زیاد کلزا به بقایای آترازین در خاک داشته و احتمالا گیاه مناسبی در آزمایش‌های زیست‌سنجی مربوط به بقایای علف‌کش آترازین باشد (۲۴و۲۵). خاک مورد آزمایش در این تحقیق مربوط به یک مزرعه ۱۰ هکتاری ذرت بود. آترازین از علف‌کش‌های با زیست ماندگاری بالا در ذرت معرفی شده است (۱۶)، و نظر به این که دو گیاه پاییزه گندم و کلزا از گیاهان عمده زراعی موجود در تناوب با ذرت در این ناحیه هستند که با فاصله اندکی از آن کشت می‌شوند، توجه به حساسیت آنها به بقایای آترازین برای اعمال فاصله زمانی مناسب برای تناوب ضروری است. این موضوع به ویژه از این نظر که پس از برداشت ذرت به دلیل کاهش دمای محیط سرعت تجزیه آترازین کاهش می‌یابد (۲۶) اهمیت بیشتری دارد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه مشخص شد که از کلزا می‌توان به عنوان یک گیاه محک خوب برای زیست سنجی آترازین استفاده نمود. همچنین نشان داده شد که پارامتر رشد مجموع وزن تر ساقه-چه و ریشه گیاه کلزا (روش زیست‌سنجی)، همبستگی نزدیکی با اندازه‌گیری مستقیم آترازین در خاک (تجزیه شیمیایی) دارد. با توجه به این که حداکثر بانک بذور علف‌های هرز در مزرعه مورد آزمایش در لایه‌های سطحی خاک (۵-۱۵ سانتی‌متر) قرار داشت (۳۲) و از طرفی غلظت آترازین در این اعماق بیشتر برآورد گردیده، استفاده از علف‌کش آترازین در این قطعه آزمایشی می‌تواند کارایی کنترل علف‌های هرز را افزایش داده و بقای بیشتر آن در خاک موجب کنترل طولانی‌تر علف‌های هرز گردد (۲۹).

References

1. Strek, H. J. 2005. The science of deposits soil residual herbicides in Canada. In: Soil residual herbicides: Science and Management, pp. 31-44.ed. R.C. Van Acker. Topics in Canadian Weed Science, Volume 3.Sainte. Anne-de Bellevue, Quebec.
2. Riaz, M. M., Jamil, N. and Mahmood, T. Z. 2007.Yield and yield components of maize as affected by various weed control methods under rain-fed conditions of Pakistan. International Journal Agriculture Biology, 9:152-159.
3. Robert, M. Z., Weaver, R. M. A. and Martin, L. A. 2006. Microbial adaptation for accelerated atrazine mineralization/degradation in Mississippi Delta soils. Weed Science, 54:538-547.
4. Zand, E., Nezamabadi, M. A., Baghestani, M. A., Shimi, P. and Mousavi, S. K. 2019. A Guide to Chemical Control of Weeds in Iran. Mashhad Daneshgahi Jahad Publication. 216 p.
5. Williams, M. M., Boerboom, C. M. and Rabaey, T. L. 2010. Significance

of atrazine in sweet corn weed management systems. Weed Technology, 2:139-142.

6. Mueller, K., Smith, R. E., James, T. K., Holland, P. T. and Rahman, A. 2003. Prediction of field atrazine persistence in an allophonic soil with Opuse2. Pest Management Science, 60:447-458.
7. Santin-Montanya, I., Alonso-Prados, J. L., Villarroya, M. and Garcia-Baudin, J. M. 2006. Bioassay for determining sensitivity to sulfosufuron on seven plant species. Journal of Environmental Science and Health, 41:781-793.
8. Walsh, M. J., Stratford, K., Stone, K. and Powles, S. B. 2012. Synergistic effects of atrazine and mesotrione on susceptible and resistant wild radish (*Raphanus raphanistrum*) populations and the potential for overcoming resistance to triazine herbicides. Weed Technology, 2:341- 347.
9. Ghassam, A. H., Alizadeh, M., Bihamta, R. and Ashrafi, T. 2010. Bioassay to use herbicide residue in corn using Cress (*Lepidium sativum*) as sensitive plant. 3rd Iranian Weed Science Congress. Babolsar. 17-18 February.
10. Jettner, R. J., Walker, S. R., Churchett, J. D., Blamey, F. P. C., Adkins, S. W. and Bell, K. 1999. Plant sensitivity to atrazine and chlosulfuron residues in a soil-free system. Weed Research, 39:287-295.
11. Chopra, I., Kumari, B. and Sharma, S. K. 2010. Evaluation of leaching behavior of pendimethalin in sandy loam soil. Environmental Monitoring Assessment, 160:123-126.
12. Mudhoo, A. and Garg, V. K. 2011. Sorption, transport and transformation of atrazine in soils, minerals and composts: a review. Pedosphere, 1:11-25.
13. Konda, L. N. and Pasztor, Z. 2001. Environmental distribution of acetochlor, atrazine, chlorpyrifos and propischlor under field conditions. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49:3859-3863.
14. Anderson, S.G.R. and Corke, C.T. 1980. Atrazine and cyanazine activity in Ontario and Manitoba soils. Canadian Journal Soil Science, 60:773-781.
15. Olivera, R. S., Koskinen, W. C. and Ferrreira, F. A. 2001. Sorption and leaching potential of herbicides in Brazilian soils. Weed Research, 41:97-110.
16. Khalil, Y., Siddique, K. H. M., Ward, P., Piggin, C., How Bong, S., Nambiar, R., Trengove, R. and Flower, K. 2018. A bioassay for prosulfocarb, pyroxasulfone and trifluralin detection and quantification in soil and crop residues. Crop and Pasture Science, 6:606-616.
17. Mueller, T. C. and Senseman, S. A. 2015. Methods related to herbicide dissipation or degradation under field or laboratory conditions. Weed Science, Special Issue: 133-139.
18. Shimabuku, R. A., Ratsch, H. C., Wise, C. M., Nwosu, J. U. and Kapustka, L. A.1991. A new plant life cycle bioassay for assessment of the effects of toxic chemicals using rapid cycling brassica. In: Plants for Toxicity Assessment, pp.365-375.ed. J.W. Gorsuch, W.R .Lower, W.Wang and M .A. Lewis. Second Volume, ASTM STP 1115. Philadelphia, PA

American Society for Testing and Materials.

19. Zand, E., Mousavi, S. K. and Heidari, A. 2014. Herbicides and their Application.2nd Edition by Fundamental Changes. Mashhad Daneshgahi Jahad Publication. 547 p.
20. Van Wyk, L. J. and Reinhardt, C.F. 2001. A bioassay technique detects Imazethapyr leaching and liming-dependent activity. Weed Research, 15:1-6.
21. Forouzangohar, M., Hagnia, G. H. and Koocheki, A. 2005. Organic amendment to enhance atrazine and metamitron degradation in two contaminated soils with contrasting textures. Soil Science Contamination, 14:245-355.
22. Halloway, K. I., Kookana, R. S., Noy, D. M., Smith, J. G. and Wilhelm, N. 2006. Crop damage caused by residual acetolactate synthase herbicides in the soils of south-eastern Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture, 46:1323-1331.
23. Izadi, E., Rashed Mohassel, M. H. and Zand, E. 2011. Evaluation of crops sensitivity to atrazine soil residue. Journal of Plant Protection, 6:995-1001. (Persian).
24. Peyvastegan, S. and Frahbakhsh, F. 2011.The residual effects of different doses of Atrazine+Alachlor and foramsulfuron on the growth and physiology of rapeseed (*Brassica napus* L.).International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering, 5:88-93.
25. Walker, A., Briggs, G. G., Greaves, M. P., Hance, R. J. and Thompson, A. R. 1982. Herbicides in soil. In: Weed Control Handbook, 533 pp. ed. H. A. Roberts. Principles. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
26. Shikkema, P. H. and Lambregts, J. L. 1995. Tolerance of pea to imazethapyr and metolachlor. Regetown College of Agricultural Technology, weed control studies. Annual Report . Pages 268-269.
27. Kalaichelvi, K. 2015. Leaching behavior of atrazine and metribuzin in different soil types. Indian Journal of Weed Science, 47:101-102.
28. Sondhia, S.2007. Evaluation of leaching potential of pendimethalin clay-loam soil. Pesticide Research Journal, 19:119-121.
29. Reinhardt, C. F. and Nel, P. C. 1993. Quantitative bioassays for monitoring the dissipation of atrazine in soil. South African Journal of Plant and Soil, 2:58-62.
30. Dreor, I., Kliger, I., Laufer, A., Hadas, A., Rosso, S. and Taron, B.1999a. Behavior of pesticide atrazine and terbutylazine in an irrigated field: I. Persistence dissipation and redistribution. Agrochemica, 5-6:257-266.
31. Muller, K., Magesan, G. N. and Bolan, N. S.2007. A critical review of the influence of effluent irrigation on the fate pesticides in soil. Agriculture Ecosystems and Environment, 120:93-116.
32. Habibian, L. 2013.Weed seed bank dynamic in a rotation crop. MSc thesis. Islamic Azad University, Qaemshahr Branch.