مجله دانش علف‌های‌هرز
دورهٔ ۱۷، شمارهٔ ۲، ۱۴۰۰ (ص ۱۱۰-۹۹)

Iranian Journal of Weed Science
Vol 17, No 2, 2021 (99-110)
DOI: 10.22092/IJWS.2021.343578.1373

بررسی نقش تجزیه شیمیایی و زیستی در ماندگاری علف‌کش نیکوسولفورون در شرایط کنترل شده خاک

ابراهیم ممنوعی[۱]، ابراهیم ایزدی دربندی[*۲]، مهدی راستگو[۲]، محمد علی باغستانی[۳]، محمد حسن زاده[٤]، حوریه نصیرلی[٥]

۱- دانش آموخته دکتری علوم علف های هرز، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۲- دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۳- استاد، موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، ٤- استاد، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، ٥- دکتری، دانشگاه علوم پزشکی مشهد

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۷/۲۲ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲٦)

چکیده

علف‌کش‌های نیکوسولفورون از گروه علف‌کش‌هایی است که دارای پسماند خاکی است و باقیمانده آن در خاک قادر است به محصولات حساس در تناوب زراعی خسارت وارد کند. به‌منظور بررسی نقش تجزیه زیستی و شیمیایی در ماندگاری علف‌کش نیکوسولفورون در خاک در شرایط کنترل شده، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام شد. فاکتور اول شامل شرایط استریل و غیراستریل خاک و کود در دو سطح، فاکتور دوم شامل کاربرد کودهای آلی و زیستی در چهار سطح کود گاوی، ورمی‌کمپوست و زیستی مایکوریزا (با نسبت دو درصد وزنی) به همراه شاهد بدون کاربرد کود و فاکتور سوم شامل زمان‌های نگهداری نمونه‌ها در انکوباتور در هشت سطح صفر، چهار، هشت، ۱۶، ۳۵، ۵۰، ۸۰ و ۱۰۰ روز بود. نتایج نشان داد که تجزیه نیکوسولفورون در شرایط استریل از طریق فرایند هیدرولیز شیمیایی و در شرایط غیراستریل از طریق فرایند هیدرولیز شیمیایی و تجزیه زیستی بود. در شرایط بدون کاربرد کودهای آلی، سرعت تجزیه علف‌کش نیکوسولفورون در حالت استریل و غیراستریل تفاوت معنی‌داری نداشت، اما با کاربرد کودهای آلی، سرعت تجزیه افزایش و باقیمانده علف‌کش کاهش یافت. کمترین باقیمانده نیکوسولفورون در کاربرد کود گاوی در شرایط غیراستریل (۰/۰۱ میکروگرم در کیلوگرم) و استریل (۰/۰۳ میکروگرم در کیلوگرم) مشاهده شد. بیشترین سرعت تجزیه نیکوسولفورون از کاربرد کود گاوی در شرایط غیراستریل (۰/۰۴۴ میکروگرم در کیلوگرم در روز) و کمترین سرعت تجزیه در غیاب کاربرد کودهای آلی و شرایط استریل (۰/۰۱۸ میکروگرم در کیلوگرم در روز) به‌دست آمد. کمترین و بیشترین نیمه عمر به‌ترتیب ۱۵/۳۳ و ۳۸/۵ روز بود که در تیمارهای کاربرد کود گاوی در شرایط غیراستریل و تیمار کنترل در شرایط استریل به‌دست آمد. بر اساس نتایج آزمایش، فرایندهای هیدرولیز شیمیایی و تجزیه زیستی، نقش موثری در تجزیه نیکوسولفورون در خاک دارند.

کلمات کلیدی: آنالیز دستگاهی، پسماندعلف‌کش، نیمه عمر، هیدرولیز.

Roll of chemical and biological degradation in nicosulfuron herbicide persistence in the soil under controlled conditions

Ebrahim Mamnoie[X1], Ebrahim Izadi Darbandi[*2], Mehdi Rastgoo[2], Mohammad Ali Baghestani[3], Mohammad Hasanzade[4], Hurieh Nassirli[5]

1. Plant Protection Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran. 2. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. 3. Iranian Plant Protection Research Institute, Iran. 4 Faculty of Pharmacy, Mashhad University of Medical Sciences, Iran. 5. Pharmaceutical Research Center, Mashhad University of Medical Sciences, Iran.

(Received: October 13, 2020 - Accepted: February 14, 2021)

ABSTRACT

Nicosulfuron belongs to the group of herbicides that has soil residue and its residue in the soil cause damage to sensitive crops in the crop rotation. To study the roll of chemical and biological degradation in nicosulfuron herbicide persistence in the soil under controlled conditions, an experiment was carried out in a factorial randomized complete block design with three replications during 2015-2016. The first factor was sterile and non-sterile conditions of soil and fertilizer; the second factor included the application of organic and bio-fertilizers at four levels of cow manure, vermicompost, mycorrhiza (2 % w/w) and control treatment without fertilizer and the third factor included incubating periods at eight levels (0, 4, 8, 16, 35, 50, 80, 100 days). The results showed that nicosulfuron degradation was chemical hydrolysis under sterile conditions and biodegradation and chemical hydrolysis under non sterile conditions. Nicosulfuron degradation rate was not significant different in control treatment (without organic fertilizers application) under sterile and non-sterile fertilizer and soil conditions, but increased with application of organic and bio-fertilizers. and Herbiced residue was deacresed with application of organic and bio-fertilizers. The lowest residue rate was obtained from the application of cow manure under non-sterile (0.01 mg/kg/ day) and sterile 0.03 mg/kg/ day) conditions. The highest and the lowest degradation rate were observed in the cow manure treatment under non-sterile conditions (0.044 mg/kg/ day) and control treatment under sterile conditions (0.018 mg/kg/ day). Also the lowest and the highest half-life was 15.33 and 38.5 day, obtained from the application of cow manure under non-sterile conditions respectively. According to the results, chemical hydrolysis and biodegradation had effective role in nicosulfuron degradation.

Keywords: Half-life, HPLC, hydrolysis, residue.

* Corresponding author E-mail: e-izadi@um.ac.ir

۱- عضو هیات علمی بخش تحقیقات گیاهپزشکی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز
(Plant Protection Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz.)

مقدمه

کاربرد علف‌کش‌ها، مهم‌ترین روش کنترل علف‌های‌هرز است؛ با این وجود، کاربرد نامتعارف علف‌کش‌ها، پیامدهای نامطلوب زیست محیطی را به دنبال دارد (Khoury *et al*., 2003; Mueller & Senseman, 2015). علف‌کش نیکوسولفورن از گروه سولفونیل اوره و بازدارنده آنزیم استولاکتات سینتاز (ALS) است که برای کنترل علف‌های‌هرز در ذرت ثبت شده است. علف‌کش‌های سولفونیل اوره به دلیل انتخابی بودن، طیف وسیع کنترل و مقدار مصرف کم، کاربرد فراوانی دارند (Mueller & Senseman, 2015). این علف‌کش‌ها فعالیت زیستی بالایی در خاک دارند و محدودیت تناوبی ایجاد می‌کنند (Rahman *et al*., 2011; Mueller & Senseman, 2015). بر اساس مطالعات انجام شده، گیاهان زراعی نظیر چغندرقند[۲]، سورگوم[۳]، ذرت و یونجه[٤] نسبت به بقایای برخی سولفونیل اوره ها حساسیت دارند (Izadi *et al*., 2011, 2013). سرنوشت و تجزیه علف‌کش‌ها، تابع ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مولکول‌های علف‌کش (فشار بخار، وزن مولکولی، ضریب تفکیک یونی (pK_a)، حلالیت، ماهیت گروه واکنشی، ساختار شیمیایی، فرمولاسیون، غلظت کاربرد علف‌کش)، ویژگی‌های خاک (بافت، اسیدیته، محتوای رطوبتی، ماده آلی) و شرایط محیطی (حرارت، تابش، رطوبت، و سرعت باد، جمعیت و فعالیت میکروارگانیسم‌ها) است (Stenersen, 2004; Alletto1 *et al*., 2010; Mueller & Senseman, 2015). در این ارتباط گزارش شده است که با افزایش اسیدیته خاک، جذب علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره‌ها به ذرات خاک کاهش می‌یابد (Grey *et al*., 2012). با این وجود گزارش شده است که با افزایش ماده آلی خاک، جذب علف‌کش هالوسولفوورن افزایش یافت (Johnson *et al*., 2010). به‌طورکلی تجزیه شیمیایی، میکروبی و نوری، از مهم‌ترین عوامل تجزیه و فرایندهای تعیین کننده سرنوشت علف‌کش‌ها هستند و در علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره از جمله نیکوسولفورون، هیدرولیز شیمیایی و تجزیه میکروبی نقش مهم‌تری نسبت به تجزیه نوری دارند (Rache *et al*., 1997; Colquhoun, 2006).

هیدرولیز شیمیایی علف‌کش‌های سولفونیل اوره، تابع شرایط اسیدیته خاک، حرارت و رطوبت است (Fuesler & Hanafey, 1990) و رابطه مستقیمی با اسیدیته خاک دارد (Mueller & Senseman, 2015) و در شرایط اسیدی، هیدرولیز شیمیایی افزایش می‌یابد (Sarmah & Sabadie, 2002; Colquhoun, 2006). در این ارتباط گزارش شده است که با افزایش دما و کاهش اسیدیته، هیدرولیز هالوسولفورون افزایش یافت (Johnson *et al*., 2010). همچنین گزارش شده است که در شرایط اسیدی، هیدرولیز هالوسولفورون (Johnson *et al*., 2010)، نیکوسولفورون (Rouchaud *et al*., 1998; Colquhoun, 2006)، مت‌سولفورون (Pons & Barriuso, 1998) و بن‌سولفورون‌متیل (Sabadie, 1996) افزایش یافت.

میکروارگانیسم‌های خاک قادرند علف‌کش‌ها و متابولیت‌های ثانویه آن‌ها را تجزیه کنند و از آن‌ها به‌عنوان منابع انرژی جهت رشد استفاده کنند (Stenersen, 2004). قارچ‌ها و باکتری‌ها از مهم‌ترین میکروارگانیسم‌های خاک هستند که از طریق فعالیت‌های آنزیمی قادرند علف‌کش‌ها را تجزیه کنند (Stenersen, 2004). اعتقاد بر این است که شرایط محیطی و خاک، با تاثیر بر فعالیت میکروبی بر

[۱] Acetolactate synthase
[۲] *Beta vulgaris* L.
[۳] *Sorghum bicolor* L.
[٤] *Medicago sativa* L.

ماندگاری علف کش ها تاثیرگذار هستند. در این ارتباط، کودهای آلی و زیستی نیز با بهبود شرایط تهویه، نگهداری آب، اسیدیته و افزایش مقدار مواد غذایی در خاک (Rathod & Patel. 2010) قادرند فعالیت میکروبی و هیدرولیز شیمیایی را بهبود و ماندگاری آفت‌کش‌ها را کاهش دهند (Rathod & Patel. 2010; Rahman *et al*., 2011). گزارش شده است که ماده آلی قادر است سرعت تجزیه علف‌کش‌های نیکوسولفورون (Rahman *et al*., 2011)، سولفوسولفورون (Sondhia & Singhai, 2008)، پریمی‌سولفورون و ریم‌سولفورون (Vicari *et al*., 1996) را افزایش و ماندگاری آن‌ها را کاهش می‌دهد. در گزارشی، با کاربرد کوهای‌های گاوی، ورمی‌کمپوست و کودهای زیستی، سرعت تجزیه علف‌کش متری‌بیوزین، ۳۷ درصد افزایش و نیمه عمر آن ۵۲ درصد کاهش یافت (Shahgholi *et al*., 2014). سایر گزارش‌ها نیز نشان‌دهنده آن است که با کاربرد کودهای آلی و زیستی، ماندگاری تری‌فلورالین (Barzoei *et al*., 2016)، متری‌بیوزین (Mehdizadeh,. 2012; Fakhrerad *et al*., 2013) کلروسولفورون، تریاسولفورون، مت‌سولفورون‌متیل (James *et al*., 1999; Wang *et al*., 2006; Wang *et al*., 2008)، ریم‌سولفورون (Vicari *et al*., 1996; Perruci *et al*., 2000)، آمیترول (Forouzangohar *et al*., 2005)، سولفوسولفورون (Hadizadeh, 2008) کاهش یافت.

با توجه به پیامدهای زیست محیطی پسماند علف‌کش‌ها در خاک و اثرات نامطلوب آن بر محصولات حساس در تناوب زراعی، تعیین و بررسی نقش فرایندهای تجزیه علف‌کش‌ها اهمیت بسزایی دارد. بنابراین از آن‌جا که تحقیقات محدودی در ارتباط با نقش تجزیه زیستی و شیمیایی علف‌کش‌های سولفونیل اوره‌ها به‌ویژه علف‌کش نیکوسولفورون در کشور انجام شده است، این آزمایش با هدف بررسی نقش تجزیه شیمیایی و زیستی علف‌کش نیکوسولفورون در خاک و ارزیابی ماندگاری آن تحت تاثیر منابع مختلف کودهای آلی و زیستی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در آزمایشگاه تحقیقات علوم علف‌های‌هرز دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۹۵-۱۳۹٤ اجرا شد. عوامل مورد بررسی در آزمایش شامل شرایط استریل و غیراستریل خاک و کود به‌عنوان فاکتور اول، کاربرد کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست، زیستی مایکوریزا و شاهد (بدون کاربرد کود) به‌عنوان فاکتور دوم و زمان نگهداری نمونه‌ها در انکوباتور در هشت سطح صفر، چهار، هشت، ١٦، ۳۵، ۵۰، ۸۰ و۱۰۰ روز به‌عنوان فاکتور سوم بودند.

خاک مورد آزمایش، از مکانی که حداقل پنج سال سابقه کاربرد هیچ گونه علف‌کش و ماده آلی نداشت تهیه شد. برای این منظور، نمونه‌گیری خاک از چند نقطه به‌صورت تصادفی از عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری انجام شد. بقایای گیاهی و شن از نمونه‌ها با الک دو میلی‌متری (شرکت اندکاتس انگلستان) جدا شدند و با تیمارهای کودی گفته شدهگفته شده به نسبت دو درصد وزنی به‌صورت یکنواخت مخلوط شدند(Briceno and Palma, 2007). مشخصات خاک و کودهای مورد آزمایش در جدول یک آمده است.

به‌منظور بررسی روند تجزیه زیستی نیکوسولفورون، ۵۰ گرم نمونه خاک تهیه شده به شیشه‌ی استریل شده ۱۵۰ میلی‌متر منتقل شد و نیکوسولفورون حل شده در متانول با غلظت یک پی‌پی‌ام به آن اضافه شد (Poppell *et al*., 2002). پس از تبخیر متانول، نمونه‌ها

به‌طور یکنواخت مخلوط شدند و آب استریل در حد ۷۵ درصد ظرفیت زراعی از طریق روش وزنی به آن اضافه شد. درب شیشه‌ها را با کاغذ آلومینیوم منفذدار بسته شد و نمونه‌ها در انکوباتور در شرایط تاریکی و دمای ۲۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند (Fakhrerad *et al.*, 2013). برای بررسی روند تجزیه شیمیایی نیکوسولفورون، ابتدا نمونه‌های خاک در دمای ۱۲۵ درجه سانتی‌گراد با فشار ۱/۲ بار به‌مدت ٤۵ دقیقه در اتوکلاو استریل شدند و سپس علف‌کش طبق روش گفته شده به نمونه خاک اضافه شد (Khoury *et al.*, 2003).

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک و کودهای آلی و زیستی آزمایش

Table 1. Some characteristics of soil and organic and biological fertilizers used in the experiment

	N (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	OC (%)	EC (ds m^{-2})	pH
Silt loam	0.075	180	98	0.68	148	8.72
Cow manure	11375	410.4	7480	20	4.52	8.72
Vermicompost	10033	2371	7820	15	5.81	8.44
Mycorrhiza	6125	97	3680	10	2.46	8.12

ماده آلی (OM)، کربن آلی (O)،

Organic Mater (OM) ,Organic carbon (OC)

نمونه‌ها پس از خروج از انکوباتور در بازه‌های زمانی مورد نظر در دمای آزمایشگاه خشک شدند و تا مرحله استخراج نیکوسولفوورن از خاک، در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

برای استخراج نیکوسولفورون از خاک، ۱۰ گرم از نمونه‌ها به لوله‌های درب‌دار۵۰ میلی‌لیتری منتقل شدند و ۳۰ میلی‌لیتر مخلوط استونیتریل و آب دیونیزه به‌ترتیب با نسبت دو:سه درصد حجمی اضافه شد و ۳۰ دقیقه با شیکر تکان داده شدند. پس از سانتریفیوژ کردن نمونه‌ها با دور چهار هزار در دقیقه به مدت پنج دقیقه، فاز مایع جدا شد و از کاغذ صافی واتمن ٤۲ عبور داده شد. سپس ۰/۵ میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک شش نرمال و شش گرم کلرید سدیم به نمونه‌ها اضافه شد و نمونه‌ها به مدت ۳۰ ثانیه با شیکر تکان داده شدند. سپس ۱۵ میلی‌لیتر دی‌کلرومتان اضافه شد و مجددا ۳۰ ثانیه با شیکر تکان داده شدند. سپس نمونه‌ها به مدت پنج دقیقه بی‌حرکت باقی ماند تا فاز آلی از فاز آبی جدا شود. مرحله اضافه کردن ۱۵ میلی‌لیتر دی‌کلرومتان به باقی‌مانده عصاره، دوباره تکرار شد تا باقیمانده فاز آلی جداسازی شود. محلول جمع آوری شده با دستگاه تبخیر چرخشی خلاء (روتاری اواپراتور) در دمای ٤۵ درجه سانتیگراد حمام آب گرم تغلیظ شد. سپس یک میلی‌لیتر استونیتریل به ظرف اضافه شد و پس از عبور از فیلتر ۰/٤۵ میکرومتری، به دستگاه HPLC تزریق شد (Wu *et al.*, 2010). لازم به ذکر است که استونیتریل و دی‌کلرومتان، با خلوص کروماتوگرافی و سایر مواد مورد استفاده در آزمایش، با خلوص تجزیه‌ای[۱] از شرکت مرک[۲] استفاده شدند.

تعیین باقیمانده علف‌کش در آزمایشگاه پژوهشکده بوعلی دانشگاه علوم پزشکی مشهد انجام شد. مدل دستگاه HPLC[۳] شیمادزو[٤] ساخت ژاپن مجهز به آشکارساز اسپکتروفتومتریک یووی[۵] با ستون فاز معکوس C_{18} از جنس بدنه استیل به طول ۲۵۰ میلی متر و قطر خارجی ٤۵ میلی متر انجام گرفت. دستگاه فوق مجهز به یک سیستم خارج کننده گاز بود. فاز متحرک مورد استفاده شامل آب دیونیزه: استونیتریل: استیک اسید به‌ترتیب با نسبت حجمی ۷۰:۳۰: ۰/۲

[۱] Analytical grade
[۲] Merck
[۳] High performance liquid chromatography
[٤] Shimadzu SCL- 10AVP
[۵] UV- Vis

درصد بود که قبل از استفاده به کمک دستگاه التراسونیک گاززدایی شد. سرعت جریان عبور فاز متحرک، ۰/۸ میلی‌لیتر در دقیقه و حجم تزریق ۲۵ میکرولیتر بود که از یک فیلتر آلی ۰/٤۵ میکرومتری عبور داده شد. طول موج حداکثر جذب برای نیکوسولفورون با دستگاه اسپکتروفتومتر، ۲۳۸ نانومتر تعیین شد. قبل از تزریق نمونه‌های به دستگاه، محلول استاندارد نیکوسولفورون با خلوص ۹۹/٦ درصد از شرکت سیگماآلدریچ آلمان تهیه شد و پس از تزریق به دستگاه، محل ظهور پیک علف‌کش و زمان بازداری نیکوسولفورون (۱٦/۱۹ دقیقه) مشخص شد (شکل ۱ و جدول ۱). همچنین برای تعیین حد تشخیص دستگاه [1] (LOD) از روش سیگنال به نویز [2] ($\frac{S}{N}$) استفاده شد. برای این منظور، با تزریق شش تکرار از غلظت‌های مختلف ۰/۵، ۰/۱، ۰/۰۱ میکروگرم در لیتر به دستگاه در نقطه‌ای که نسبت ارتفاع سیگنال سه برابر ارتفاع نویز شد، حد تشخیص تعیین شد (Shrivastava & Gupta, 2011).

سرعت تجزیه نیکوسولفورون از معادله سینتیک درجه یک (معادله ۱) تعیین شد (Muller *et al.*, 2003):

$$C_t = C_0 \exp^{(-kt)} \qquad \text{(معادله ۱)}$$

که در این معادله، C_t: غلظت نیکوسولفورون در زمان t، C_o: غلظت اولیه نیکوسولفورون (میکروگرم در کیلوگرم خاک)، k: سرعت تجزیه (میکروگرم در کیلوگرم خاک در روز) و t: زمان (روز) می‌باشد. برای تعیین زمان لازم برای کاهش ۵۰ و ۹۰ درصد نیکوسولفورون، از معادله دو و سه استفاده شد (Muller *et al.*, 2003):

$$DT_{50} = \frac{\ln 2}{k} \qquad \text{(معادله۲)}$$

$$DT_{90} = \frac{\ln 10}{k} \qquad \text{(معادله۳)}$$

که در این دو معادله، DT_{50} و DT_{90}: به‌ترتیب زمان لازم برای تجزیه ۵۰ و ۹۰ درصد از باقیمانده نیکوسولفورون و k: ضریب تجزیه علف‌کش است. برای مقایسه شیب خطوط و سایر پارامترهای آماری از معادله چهار استفاده شد (Soltani, 2014):

(معادله ٤) (اشتباه معیار آماره) ($t_{0.05, dfe}$) ± آماره = حدود اطمینان

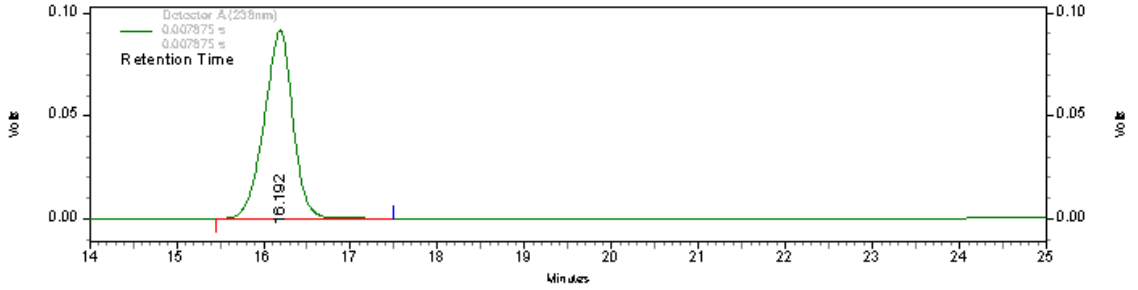
در این معادله، آماره شامل پارامترهای اندازه‌گیری شده که شامل ضریب تجزیه علف‌کش (k)، شیب خط (b) یا ED_{50} یا ED_{90} است و اشتباه معیار آماره نیز همان خطای استاندارد پارامترها است که بعد از اضافه و کم کردن خطای استاندارد به پارامتر مورد نظر، دامنه پارامتری تعیین شد. سپس از طریق مقایسه دامنه پارامترهای آماری از طریق همپوشانی یا عدم همپوشانی آن‌ها، گروه‌بندی پارامترها انجام شد. لازم به ذکر است که با توجه این‌که مقدار t محاسبه شده جدول در کلیه مقایسه‌ها ثابت بود، از معادله حذف شد (Soltani, 2014) و قبل از انجام تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن داده‌ها انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش برش‌دهی اثر متقابل و آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح پنج درصد با استفاده از نرم افزار SAS (نسخه ۹.۱) انجام شد. همچنین تجزیه رگرسیون داده های و برازش نمودارها با استفاده از نرم افزار سیگماپلات (نسخه ۱۲) انجام شد.

نتایج و بحث

در این مطالعه، حد تشخیص دستگاه در سنجش نیکوسولفورون، ۰/۰۱ میکروگرم در کیلوگرم بود. در مطالعات قبل نیز ۰/۰۱ میکروگرم در کیلوگرم (Lazic & Sunjka, 2014)، ۰/۰۰۲ میکروگرم در کیلوگرم (James & Trolove, 2009)، ۰/۰۵ نانوگرم در کیلوگرم (Wu *et al.*, 2010) گزارش شده است. کارایی استخراج نیکوسولفورون از خاک در تیمارهای کاربرد کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و

[1] Limit of detection
[2] Signal-to-noise ratio

شاهد، به‌ترتیب ۹٤، ۹٤، ۹۲ و ۹۸ درصد بود. کارایی بالای استخراج در این روش ممکن است به دلیل تکرار عملیات شیکر، سانتریفیوژ و صاف کردن عصاره که در گزارش‌ها به آن اشاره شده است (Khoury *et al.*, 2003; Wu *et al.*, 2010) باشد.



شکل ۱- محل ظهور استاندارد نیکوسولفورون

Figure 1. Peak location of nicosulfuron standard

جدول ۲- خصوصیات محل ظهور استاندارد نیکوسولفورون

Table 2. Characteristics of peak location of nicosulfuron standard

Name of the curve	Concentration	Area under the curve	Curved height	Retention time
Nicosulfuron Standard	1 ppm	61365	2600	16.19

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر شرایط استریل، کودهای آلی و زیستی، زمان نگهداری در انکوبانور و اثر متقابل استریل ×کود × زمان نگهداری، تأثیر معنی‌داری بر باقیمانده علف‌کش داشت (جدول ۳). همچنین برش‌دهی اثر متقابل سطوح کاربرد کودهای آلی و زیستی در هر سطح تیمار زمان نگهداری انکوباتور نشان داد که مقدار باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون، تحت تاثیر معنی‌دار زمان نگهداری آن‌ها در انکوباتور بود (جدول ٤).

با افزایش زمان انتظار در انکوباتور، باقیمانده نیکوسولفورون در هر دو شرایط استریل و غیراستریل، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۲). در شرایط استریل، مقدار باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در تیمار شاهد (بدون کاربر کودهای آلی و زیستی) پس از ۱۰۰ روز، به ۰/۱۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک کاهش یافت، اما با کاربرد کودهای آلی گاوی، ورمی‌کمپوست و مایکوریزا، به‌ترتیب به ۰/۰۳، ۰/۰۵ و ۰/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک کاهش یافت که با شاهد اختلاف معنی‌داری داشتند. این نتایج نشان می‌دهد که در شرایط استریل، با کاربرد تیمارهای کودی گفته شده، مقدار باقیمانده علف‌کش به‌ترتیب چهار، ۲/٤ و ۱/۷ برابر نسبت به شاهد کاهش می‌یابد (جدول ۵).

جدول ۳- اثر شرایط استریل، کودهای آلی، زیستی و زمان نگهداری در انکوباتور بر باقیمانده نیکوسولفورون در خاک در شرایط کنترل شده

Table 3. Effect of sterile conditions, organic and bio-fertilizers and time incubation on nicosulfuron residue in the soil under control condition

Sources of variation	df	Mean Square
		Nicosulfuron residue
Replication	2	0.0001ns
Sterile Condition (S)	1	0.0792**
Organic and Bio Fertilizers (F)	3	0.2377**
Incubator period (T)	7	2.9167**
S × F	3	0.0061**
S × T	7	0.0056**
F × T	21	0.0084**
S × F ×T	21	0.0008*
Error	126	0.0004
CV (%)		4.07

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌داردر سطوح پنج و یک درصد

ns *and**; non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

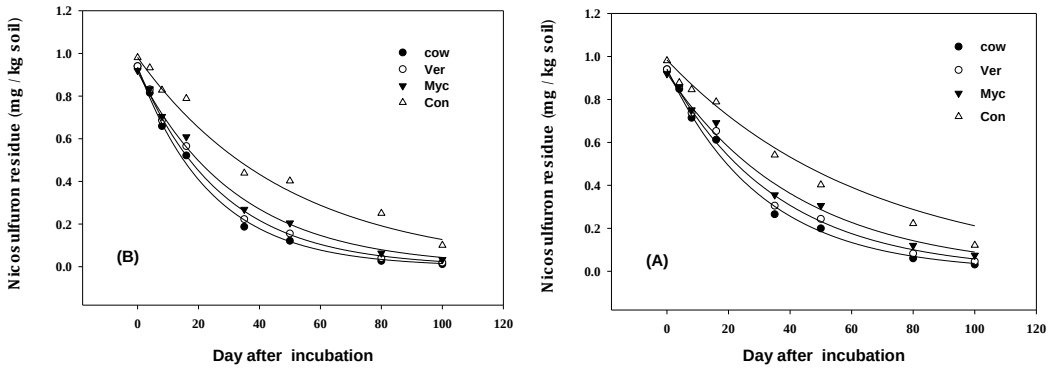
جدول ۴- برش‌دهی سطوح کودهای آلی و زیستی در هر سطح زمان نگهداری در انکواتور

Table 4. Bio fertilizers levels sliced at each level of incubator period onditions

day	df	Non Sterile	Sterile
0	3	0.002 ns	0.002 ns
4	3	0.008 **	0.009**
8	3	0.017 **	0.017 **
16	3	0.042 **	0.041 **
35	3	0.038 **	0.038 **
50	3	0.048 **	0.047 **
80	3	0.033 **	0.033 **
100	3	0.005 *	0.005 *

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌داردر سطوح پنج و یک درصد

ns *and**; non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.



شکل ۲- روند تجزیه علف‌کش نیکوسولفورون در خاک، تحت تاثیرکودهای آلی و زیستی در شرایط کنترل شده استریل (A) و غیراستریل (B)

Figure 2 . Nicosulfuron residue in the soil under the effects of organic and bio-fertilizers application in the controled steril (A) and non steril (B). conditions. Cow (Cow manure), Ver (Vermicompost), Myc (Mycorrhiza), Non (control).

در شرایط غیراستریل نیز مقدار باقیمانده نیکوسولفورون در تیمار شاهد پس از ۱۰۰ روز، ۰/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم در خاک بود که با کاربرد کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست و مایکوریزا پس از ۱۰۰ روز، به‌ترتیب به‌طور معنی‌داری به ۰/۰۱، ۰/۰۲، ۰/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم کاهش یافتند. این نتایج بیانگر آن است که در شرایط غیراستریل، مقدار باقیمانده علف‌کش با کاربرد کودهای آلی و زیستی به‌ترتیب ۱۰، پنج و۳/۳ برابر نسبت به شاهد کاهش یافت (جدول ۵). این نتایج بیانگر آن است که کاربرد کودهای آلی و زیستی قادر است مقدار باقیمانده در هر دو شرایط استریل و غیراستریل کاهش دهد؛ با این وجود، کاهش باقیمانده علف‌کش در شرایط غیراستریل بیشتر بود. به عقیده رحمان و همکاران (Rahman *et al*., 2011) کودهای آلی با بهبود فعالیت میکروبی و هیدرولیز شیمیایی قادرند سرعت تجزیه آفت‌کش‌ها را افزایش و ماندگاری آن‌ها را کاهش دهند. به نظر می‌رسد در شرایط استریل، با حذف فعالیت های میکروبی و زیستی، مقدار باقیمانده علف‌کش بیشتر از شرایط غیراستریل بود. این نتایج با گزارش فخررراد (Fakhrerad *et al.*, 2013) مطابقت دارد.

سرعت تجزیه نیکوسولفورون در غیاب کاربرد کودهای آلی و زیستی (شاهد) در حالت استریل و غیراستریل، تفاوت معنی‌داری نداشت؛ با این وجود، سرعت تجزیه نیکوسولفورون در شرایط استریل و

غیراستریل به‌ترتیب ۰/۰۱۸ و ۰/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در روز بود؛ به عبارت ساده، سرعت تجزیه علف‌کش در شرایط غیراستریل ۰/۰۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم در روز، بیشتر از شرایط استریل بود (جدول ٦).

جدول ٥- مقایسه میانگین تاثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی و زمان نگهداری در انکوباتور بر باقیمانده نیکوسولفورون (میلی‌گرم در کیلوگرم) در خاک در شرایط استریل و غیراستریل

Tabel 5. Mean comparision of the effects of organic and bio-fertilizers and incubation time on nicosulfuron soil residue (mg kg^{-1} soil) in the sterile and non Sterile conditions.

	Fertilizer	0 (d)	4 (d)	8 (d)	16 (d)	35 (d)	50 (d)	80 (d)	100 (d)
sterile	Cow manure	0.94 a	0.85 b	0.71 b	0.61 b	0.26 c	0.20 c	0.06 b	0.03 c
	Vermicompost	0.94 a	0.86 b	0.74 ab	0.65 b	0.30 b	0.24 bc	0.08 b	0.05 c
	Mycorrhiza	0.92 a	0.86 b	0.75 ab	0.69 b	0.35 b	0.30 b	0.12 b	0.07 b
	Control	0.98 a	0.87 a	0.85 a	0.79 a	0.54 a	0.40 a	0.22 a	0.12 a
non sterile	Cow manure	0.94 a	0.81 b	0.66 b	0.52 c	0.19 b	0.12 c	0.03 b	0.01 d
	Vermicompost	094 a	0.83 b	0.68 b	0.56 bc	0.22 b	0.15 c	0.04 b	0.02 c
	Mycorrhiza	092 a	0.84 b	0.70 b	0.61 b	0.26 b	0.20 b	0.06 b	0.03 b
	Control	0.98 a	0.93 a	0.83 a	0.78 a	0.44 a	0.40 a	0.25 a	0.10 a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک، بر اساس آزمون برش‌دهی اثر متقابل و در سطح پنج درصد با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means in the same column followed by the same letter(s) are not significantly different (LSD, 0.05), based on LSMEANS test.

جدول ٦- مقایسه میانگین تاثیر کود آلی و زیستی بر سرعت تجزیه و طول عمر نیکوسولفورون در شرایط استریل و غیراستریل

Table 6. Mean comparision the effect of organic and bio-fertilizers on degradation rate and longevity of nicosulfuron in steril and non steril conditions.

	Fertilizer	K (µg/kg soil/ day)	C_0 (µg/kg soil)	DT_{50} (day)	DT_{90} (day)	R^2
Steril	Cow manure	0.034 (0.001) c	96 (2.7)	20.39	67.72	0.99
	Vermicompost	0.03 (0.001) d	96 (2.8)	23.10	76.75	0.99
	Mycorrhiza	0.025 (0.001)e	94 (2.9)	27.72	92.11	0.99
	Control	0.018 (0.001) f	99 (0.6)	38.50	127.92	0.99
Non Steril	Cow manure	0.044 (0.001) a	95 (2.5)	15.75	52.23	0.99
	Vermicompost	0.039 (0.001) b	95 (2.6)	17.77	59.04	0.99
	Mycorrhiza	0.033 (0.001) c	94 (2.7)	21.0	69.77	0.99
	Control	0.02 (0.001) f	99 (3.4)	34.66	115.13	0.99

DT_{50} و DT_{90}: به‌ترتیب نشانگر مدت زمانی است که ۵۰ و ۹۰ درصد علف‌کش تجزیه می‌شود، k: ضریب تجزیه علف‌کش، C_0: غلظت اولیه علف‌کش نیکوسولفورون. حروف مشابه در هر ستون، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است. اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد است

DT_{50} and DT_{90}: time required to 50% and 90% of herbicide residue degrade in soil, K: coefficient of degradation and C_0: initial concentration of nicosulfuron in thesoil. Means followed by the same letter are not significantly different ($P<0.05$). Numbers in the parentheses are standard error.

با کاربرد کودهای آلی و زیستی، سرعت تجزیه علف‌کش در دو شرایط استریل و غیراستریل به‌طور معنی‌دار افزایش یافت، با این وجود، افزایش سرعت تجزیه علف‌کش نیکوسولفورون با کاربرد کودهای آلی در شرایط غیراستریل بیشتر بود (جدول ٦)، به‌طوری که سرعت تجزیه نیکوسولفورون در شرایط استریل (خاک و کودهای آلی)، در تیمارهای کاربرد کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست و مایکوریزا به‌ترتیب ۰/۰۳٤، ۰/۰۳ و ۰/۰۲۵ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در روز بود که نسبت به تیمار شاهد (۰/۰۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در روز) به‌ترتیب ۱/۸۹، ۱/٦۷ و ۱/۳۹ برابر افزایش یافت، اما سرعت تجزیه نیکوسولفورون در شرایط غیراستریل (خاک و کودهای آلی) در تیمارهای کود گاوی، ورمی‌کمپوست و مایکوریزا به‌ترتیب ۰/۰٤٤، ۰/۰۳۹ و ۰/۰۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در روز بود که نسبت به شاهد (۰/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک در روز) به‌ترتیب ۲/۲، ۱/۹۵، ۱/٦۵ برابر افزایش یافت. (جدول ٦). بر این اساس، سرعت تجزیه علف‌کش نیکوسولفورون در تیمارهای کاربرد کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست و میکوریزا در شرایط غیراستریل به‌ترتیب ۲۹، ۳۰ و ۳۲ درصد بیشتر از شرایط استریل بود. به نظر می‌رسد که

افزایش سرعت تجزیه علف‌کش نیکوسولفورون در شرایط غیراستریل، ناشی از تجزیه زیستی بود که در شرایط استریل متوقف شده بود. این نتایج بیانگر آن است که تجزیه علف‌کش نیکوسولفورون در شرایط استریل، عمدتاً از طریق هیدرولیز شیمیایی و در شرایط غیراستریل، بیشتر از طریق دو فرایند تجزیه هیدرولیز شیمیایی و زیستی صورت می‌گیرد (Sabaie, 2002; Rahman *et al*., 2011). با توجه به نتایج به‌دست آمده، هر دو فرایند هیدرولیز شیمیایی و تجزیه زیستی، نقش مهمی در تجزیه نیکوسولفوورن دارند (جدول ٦). در این راستا، مهدی زاده (Mehdizadeh, 2012) نیز نشان داد که با کاربرد کودهای آلی و زیستی، تجزیه شیمیایی و زیستی متری‌بوزین افزایش می‌یابد. همچنین مشخص شد که سرعت تجزیه علف‌کش آترازین در شرایط استریل در لایه‌های سطحی و زیرین خاک مشابه است، اما در شرایط غیراستریل، در لایه سطحی بیشتر از لایه های زیرین است (Accinelli *et al*., 2002). در سایر مطالعات نیز گزارش شده است که هیدرولیز شیمیایی و تجزیه زیستی، نقش مهمی در تجریه نیکوسولفورون (Sabaie, 2002)، سولفومترون‌متیل[1] (Cambon *et al*., 1992) و تریاسولفورون (James *et al*., 1999) دارد.

نیمه عمر (DT_{50}) و زمان لازم برای تجزیه ۹۰ درصد باقیمانده نیکوسولفورون در خاک (DT_{90}) در تیمارهای کاربرد کودهای آلی و زیستی در شرایط استریل و غیراستریل کاهش یافت (جدول ٦)، به‌طوری که در شرایط استریل (خاک و کود آلی) در تیمارهای کاربرد کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست و مایکوریزا، به‌ترتیب ۲۰/۷۲، ۲۳/۱۰، ۲۷/۷۲ روز بود که نسبت به شاهد (۳۸/۵ روز) به‌ترتیب ۱۷/۷، ۱۵/٤، ۱۰/۸ روز کمتر بود؛ درحالی‌که در شرایط غیراستریل در تیمارهای گفته شده، به‌ترتیب ۱۵/۳۳، ۱۷/۷۷، ۲۱ روز بود که نسبت به شاهد (۳٤/٦٦ روز)، به‌ترتیب ۱۸/٦۱، ۱۵/۵۹، ۱۳/۳٦ روز کمتر بودند (جدول ٦). به عبارت ساده‌تر، نیمه عمر علف‌کش نیکوسولفورون در شرایط غیراستریل در تیمارهای کاربرد کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست و مایکوریزا و شاهد، به‌ترتیب ۲۲/۷۷، ۲۳، ۲٤/۲٤، ۱۰/۸۵ درصد کمتر از شرایط استریل بود. این نتایج با تغییرات سرعت تجزیه علف‌کش در شرایط غیراستریل مطابقت دارد.

مدت زمان لازم برای تجزیه ۹۰ درصد مقدار نیکوسولفورون در خاک (DT_{90}) در شرایط استریل (خاک و کود آلی) در تیمارهای کاربرد کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست و مایکوریزا، به‌ترتیب ٦۷/۷۲، ۷٦/۷۵ و ۹۲/۱۱ روز بود که نسبت به شاهد (۱۲۷/۹۲ روز) به‌ترتیب ٦۰/۲۰، ۵۱/۲۷ و ۳۵/۸۱ روز کمتر بود، درحالی‌که در شرایط غیراستریل در تیمارهای گفته شده، به‌ترتیب ۵۲/۳۳، ۵۹/۰٤ و٦۹/۷۷ روز بود که نسبت به شاهد (۱۱۵/۱۳ روز) به‌ترتیب ٦۲/۸۰، ۵٦/۰۹ و ٤۵/۳٦ روز کمتر بود (جدول ٦). به عبارت ساده‌تر، مقدار DT_{90} در تیمارهای کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست و مایکوریزا و شاهد در شرایط غیراستریل، به‌ترتیب ۲۲/۸۷، ۲۳/۰۷، ۲٤/۲۵ و ۱۰ درصد کمتر از شرایط استریل بود. این نتایج بیانگر از آن است که ماندگاری علف‌کش نیکوسولفورون در شرایط غیراستریل کمتر از شرایط استریل است، زیرا در شرایط غیراستریل، علاوه بر هیدرولیز شیمیایی، تجزیه زیستی علف‌کش نیز در کاهش مقدار ماندگاری علف‌کش در خاک مؤثر است.

بر اساس گزارش‌های موجود، مسیرهای عمده تجزیه سولفونیل اوره‌ها (Sarmah & Sabadie, 2002) و علف‌کش نیکوسولفورون، هیدرولیز شیمیایی و تجزیه میکروبی است (Colquhoun, 2006). در این ارتباط، تجزیه علف‌کش‌های ریم‌سولفورون و

[1] Sulfometuron-methyl

پریمی‌سولفورون (Vicari *et al.*, 1996)، کلروسولفورون و تریاسولفورون (James *et al.*, 1999) و مت‌سولفورون (Vega *et al.*, 1992) از طریق هیدرولیز شیمیایی و تجزیه میکروبی گزارش شده است. از سوی دیگر، هیدرولیز سولفونیل اوره ها تابع اسیدیته، حرارت و رطوبت است، به‌طوری که در شرایط اسیدی، هیدرولیز این علف‌کش‌ها افزایش می‌یابد (Sarmah & Sabadie, 2002). گزارش شده است که در شرایط اسیدی، هیدرولیز شیمیایی هالوسولفورون (Johnson *et al.*, 2010)، نیکوسولفورون (Rouchaud *et al.*, 1998) و مت‌سولفورون (Pons & Barriuso, 1998) افزایش می‌یابد.

کودهای آلی با بهبود وضعیت فیزیکی خاک و فراهم کردن محیط مناسب برای رشد و تغذیه میکروارگانیسم‌ها، سبب افزایش جمعیت و فعالیت‌های میکروبی خاک می‌شوند (Khoury *et al.*, 2003). بر این اساس، گزارش شده است که با کاربرد ماده آلی، تجزیه زیستی علف‌کش‌های کلروسولفورون، مت‌سولفورون‌متیل (James *et al.*, 1999; Wang *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2008)، ریم‌سولفورون (Vicari *et al.*, 1996; Perruci *et al.*, 2000)، فلومتسولوم (Shaw & Murphy, 1997) و تریاسولفورون (James *et al.*, 1999) افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، کاربرد ماده آلی قادر است با بهبود وضعیت رطوبتی و اسیدی خاک، هیدرولیز شیمیایی علف‌کش‌ها را افزایش دهد (Maheswari & Ramesh,. 2007)، به‌طوری که با افزایش رطوبت خاک، هیدرولیز شیمیایی علف‌کش‌های نیکوسولفورون (Maheswari & Ramesh,. 2007)، کلریدازون و متامیترون (Capri *et al.*, 1995) و فلومتسولوم (Shaw & Murphy, 1997) افزایش یافت. بر اساس نتایج این مطالعه نیز کاربرد کودهای آلی و زیستی، با افزایش تجزیه زیستی و هیدرولیز شیمیایی، منجر به کاهش ماندگاری علف‌کش نیکوسولفورون در خاک می‌شوند.

نتیجه‌گیری کلی

بر اساس نتایج این بررسی، تجزیه علف‌کش نیکوسولفورون در شرایط استریل، عمدتاً از طریق فرایند هیدرولیز شیمیایی و در شرایط غیراستریل از طریق هر دو فرایند هیدرولیز شیمیایی و تجزیه زیستی است. از سوی دیگر، با توجه به این‌که آزمایش در دو شرایط استریل و غیراستریل از نظر خصوصیات بافت خاک، رطوب خاک، دمای انکوباتور، نور، مقدار ماده آلی، اسیدیته خاک، مدت زمان نگهداری در انکوباتور و روش استخراج نیکوسولفورون یکسان بود و با وجود این‌که سرعت تجزیه نیکوسولفورون در غیاب کود آلی و زیستی در هر دو شرایط استریل و غیراستریل معنی‌دار نبود، اما کاربرد کودهای آلی و زیستی در هر دو شرایط توانست سرعت تجزیه علف‌کش افزایش و مقدار باقیمانده علف‌کش را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. نتایج نشان داد که فرایندهای هیدرولیز شیمیایی و تجزیه زیستی در تجزیه نیکوسولفورون خاک نقش مهمی دارند. همچنین مشخص شد که کود گاوی، بیشترین تاثیر در افزایش سرعت تجزیه نیکوسولفورون و کمترین ماندگاری داشت. بنابراین کاربرد کودهای آلی به‌ویژه کود گاوی می‌تواند ماندگاری این علف‌کش را در خاک کاهش و تاثیر سوء احتمالی آن در تناوب زراعی را کاهش دهد.

منابع

Accinelli, C., Screpanti, C., Dinelli, G. and Vicari, A. 2002. Short- time effects of pure and formulated herbicides on soil microbial activity and biomass. Int. J. Environ. Anal. Chem. 2: 519- 527.

Alletto1, L., Coquet, Y., Benoit, P., Heddadj, D. and Barriuso, E. 2010. Tillage management effects on pesticide fate in soils. A review. Agron. Sustain. Deve. 30: 367–400.

Barzoei, M., Izadi Darbandi, E., Rashed-Mohassel, M., Rastgoo, M. and Hassanzadeh, M. 2016. Estimate of trifluralin half-life in soil by bioassay experiment. J. plant prot. 30: 177-178.

Briceno, G. and Palma, C. 2007. influence of organic amendment on the biodegradation and movement of pesticides. Environ. Sci. Techno. 37: 233–271.

Cambon, J.P., Zheng, S.Q. and Bastide, J. 1992. Chemical or microbiological degradation of sulfonylurets in soil, I. Case of sulphomethylturon. Weed Res. 32: 1–7.

Capri, E., Ghebbion, I. C. and Trevisan, M. 1995. Metamitron and chloridazon dissipation in a silty clay loam soil. J. Agric. Food Chem. 43: 247-253.

Colquhoun, J. 2006. Herbicide Persistence and Carryover. University of Wisconsin System Board of Regents and University of Wisconsin Extension, Cooperative Extension. Available: http://corn.agronomy. wisc.edu/Management/ htm. Accessed August 1, 2006

Fakhrerad, S.F., Izadi Darbandi, E., Rashed-Mohasel M.H., Hassanzadeh-Khayyat, M. and Nassirli, H. 2013. Investigation of metribuzin degradation in soil and the effect of organic manure on its degradation and half-life. J. Plant Prot. 26: 467-476.

Forouzangohar, N., Hagnia, G.H. and Koocheki, A. 2005. Organic amendment to enhance atrazine and metamitron degradation in two contaminated soils with contrasting textures. Soil Sediment Contam. 14: 245- 355.

Fuesler, T.P. and Hanafey, M.K., 1990. Effect of moisture on chlorimuron degradation in soil. Weed Sci. 38: 256–261.

Grey, T.L., Braxton, L.B. and Richburg, J.S. 2012. Effect of wheat herbicide carryover on double-crop cotton and soybean. Weed Techno. 26: 207-212.

Hadizadeh, M.H. 2008. Effect of soil organic matter and rate application of sulfosulfuron herbicide on stability and soil biological properties in wheat. PhD Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Department of Agriculture and Plant Breeding. 188 Pp.

Izadi, E., Rashed Mohassel, M.H. and Zand, E. 2011. Evaluation of crops sensitivity to atrazine soil residual. Iranian J. Field Crops Res. 8: 995-1001.

Izadi, E., Rashed Mohassel, M.H., Mahmoudi, G. and Dehghan, M. 2013. Evaluation of some crops tolerance to Granstar (tribenuron methyl) herbicide soil residual. J. Plant Prote. 26: 362-369.

James, T. and Trolove, M. 2009. Persistence of residual herbicides in maize silage fields. Found. Arable Res. 66: 1-2.

James, T.K., Holland, P.T., Rahman, A. and Lu, Y.R. 1999. Degradation of the sulfonylurea herbicides chlorsulfuron and triasulfuron in a high organic matter volcanic soil. Weed Res. 39: 137-147.

Johnson, W.C., Grey, T.L. and Kissel, D. 2010. Interactive effects of soil pH, halosulfuron rate, and application method on carryover to turnip green and cabbage. Weed Technol. 24: 160-164.

Johnson, W.C., Grey, T.L. and Kissel, D. 2010. Interactive effects of soil pH, halosulfuron rate, and application method on carryover to turnip green and cabbage. Weed Techno. 24: 160-164.

Khoury, R., Geahchan, A., Coste, C.M., Cooper, J.F. and Bobe, A. 2003. Retention and degradation of metribuzin in sand loam and clay soils of Lebanon. Weed Res. 34: 252- 259.

Lazic, S. and Sunjka, S. 2014. Solid-Phase extraction followed by HPLC/DAD for determination of sulfonylurea herbicide in soil. Res. J. Agri. Sci. 46(2): 132-138.

Maheswari, S.T. and Ramesh, A. 2007. Adsorption and degradation of sulfosulfuron in soils. Environ. Monit. Assess. 127: 97–103.

Mehdizadeh, M. 2012. Evaluation of the effect of different organic fertilizers on the residual *Metribuzin* herbicide in Soil. Master thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Department of Agriculture and Plant Breeding. 110 Pp.

Mueller, T.C. and Senseman, S.A. 2015. Methods Related to Herbicide Dissipation or Degradation under Field or Laboratory Conditions. Weed Sci. Special Issue: 133–139.

Perruci, P., Dumontet, S., Bufo, S.A. and Mazatura, A. 2000. Effects of organic amendment and herbicide treatment on soil microbial biomass. Biol. and Fert. Soils. 32: 17- 23.

Pons, N. and Barriuso, E. 1998. Fate of metsulfuron-methyl in soils in relation to pedo-climatic conditions. Pestic. Sci. 53: 311- 323.

Poppell, C.A., Hayes, R.M. and Muelle, T.C. 2002. Dissipation of nicosulfuron and rimsulfuron in surface soil. J. Agric. Food Chem. 50: 4581−4585.

Rache, K.D., Skidmore, W.W., Hamilton, D.J., Undword, J.B., Miyamato, J. and Cohen, S.Z. 1997.

Pesticides fate in tropical soil. Pure and Appl. Chem. 69: 1349- 1371.
Rahman, A., James, T.K., Trolove, M.R. and Dowsett, C. 2011. Factors affecting the persistence of some residual herbicides in maize silage fields. N. Z. Plant Prot. 64: 125-132.
Rathod, P.H. and Patel, R.B.A.I. 2010. Persistence and management of dinitroaniline herbicide residues in sandy loam soil. Int. J. Environ. and Sustain. Dev. 9: 53- 57.
Rouchaud, J., Neus, O., Bulcke, R., Cools, K. and Callens, D. 1998. Nicosulfuron soil dissipation and mobility in corn crops. Proceedings, 50th International Symposium on Crop Protection; 5 May 1998; Gent, Belgium. Part I. Meded. Fac. Landbouwkd. Toegep. Biol. Wet. Univ. Gent 63(2A): 293–296.
Sabadie, J. 1996. Alcoolysis and chemical hydrolysis of bensulfuronmethyl. Weed Res. 36: 441-448.
Sabaie, J. 2002. Nicosulfuron: Alcoholysis, chemical hydrolysis, and degradation on various minerals. J. Agric. Food Chem. 50: 526−531.
Sarmah, A.K. and Sabadie, J. 2002. Hydrolysis of sulfonylurea herbicides in soils and aqueous solutions: A Review. J. of Agric. Food Chem. 50: 6253−6265.
Shahgholi, H., Makarian, H., Izadi Darbandi, E., Darakhshan-Shadmehri, A. and Asghari, H.R. 2014. Evaluating the effect of biological and organic fertilizers on metribuzin herbicide degradation and persistence in soil. J. Soil Manag. Sustain. 4: 91-110.
Shaw, D.R. and Murphy, G.P. 1997. Adsorption and relative mobility of flumetsulam. Weed Sci. 45: 573–578.
Soltani, A. 2014. Agricultural Experiment Analysis Plan: (with SAS programs). Jahad-e- Daneshgahi, Ferdowsi University of Mashhad Press. 430 Pp. (In Persian)
Sondhia, S. and Singhai, B. 2008. Persistence of sulfosulfuron under wheat cropping system. B. Environ. Contam. Tox. 80: 423- 428.
Stenersen, J. 2004. Chemical pesticides*:* Mode of action and toxicology. Boca Raton London New York Washington, D.C., CRC PR ESS. 256 Pp.
Vega, D., Bastide, J. and Poulain, C. 1992. Chemical or microbiological degradation of sulfonylureas in soil. II. Case of metsulfuron. Weed Res. 32: 149-155.
Vicari, A., Zimdahl, R.L., Cranmer, B.K. and Dinelli, G. 1996. Primisulfuron and rimsulfuron degradation in aqueous solution and adsorption in six Colorado soils. Weed Sci. 44(3): 672-677.
Wang, H., Wu, L. and Yates, S. 2008. Residues of 14c- metsulfuron methyl in Chinese paddy soil. Pest Manag. Soil. 64:1074-1079 Doi: 10.1002/ps.
Wang, M.E. and Zhou, Q.X. 2006. Effects of herbicide chlorimuronethyl on physiological mechanisms in wheat (*Triticum aestivum*). Tox. Environ.Safe. 64: 190–197.
Wu, Q., Chen, X., Xu, Y. and Han, L. 2010. Dissipation and residues of nicosulfuron in corn and soil under field conditions. B. Environ. Contam. Tox. 85: 79-82.