

اثر کودهای آلی و زیستی و ماده افزودنی هیدرومکس بر پایداری علف‌کش نیکوسولفورون در خاک

ابراهیم ممنوعی^۱، ابراهیم ایزدی دربندی^{۲*}، مهدی راستگو^۳، محمد علی باغستانی^۳، محمد حسن زاده خیاط^۴
۱-دانش آموخته دکتری علوم علف‌های هرز، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ۲- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه
فردوسی مشهد، ۳- استاد موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، ۴- استاد دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد
(تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۲۹ - تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۹)

چکیده

به منظور بررسی تاثیر کاربرد کودهای آلی و زیستی و ماده افزودنی هیدرومکس بر ماندگاری علف‌کش نیکوسولفورون در خاک، آزمایشی به صورت فاکتوریل و در قالب طرح آماری بلوک کامل تصادفی با سه تکرار، در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل کاربرد کودهای آلی و زیستی در چهار سطح کود گاوی، کود ورمی کمپوست، مایکوریزا و شاهد (بدون کود آلی) به عنوان فاکتور اول، مقدار کاربرد نیکوسولفورون در دو سطح ۴۰ و ۸۰ گرم ماده مؤثره به عنوان فاکتور دوم و کاربرد یا عدم کاربرد ماده افزودنی هیدرومکس به عنوان فاکتور سوم بودند. برای تعیین باقیمانده نیکوسولفورون در خاک، در بازه زمانی صفر (دو ساعت پس از سمپاشی)، دو، پنج، هشت، ۱۶، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از سمپاشی، از عمق‌های صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری انجام شد و مقدار باقیمانده علف‌کش با روش آنالیز دستگاهی (HPLC) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار کاربرد نیکوسولفورون، باقیمانده آن در خاک افزایش یافت. همچنین با افزایش مقدار کاربرد علف‌کش، سرعت تجزیه از ۰/۰۳۹ به ۰/۰۳۷ میکروگرم در کیلوگرم خاک در روز کاهش یافت و نیمه عمر آن از ۱۷/۷۷ به ۱۸/۸۳ روز افزایش یافت. همچنین با کاربرد هیدرومکس (به همراه نیکوسولفورون ۸۰ گرم ماده مؤثره)، سرعت تجزیه علف‌کش از ۰/۰۳۷ به ۰/۰۳۴ میکروگرم در کیلوگرم خاک در روز کاهش یافت و نیمه عمر آن از ۱۸/۷۳ به ۲۰/۳۹ روز افزایش یافت. با کاربرد کودهای گاوی، ورمی کمپوست و مایکوریزا، سرعت تجزیه نیکوسولفورون در تیمار ۸۰ گرم (بدون ماده افزودنی)، از ۰/۰۳۷ به ترتیب به ۰/۰۶۱، ۰/۰۵۶ و ۰/۰۵۱ میکروگرم در کیلوگرم خاک در روز افزایش یافت و نیمه عمر علف‌کش از ۱۸/۷۳ روز به ۱۱/۳۶، ۱۲/۳۸ و ۱۳/۵۹ روز کاهش یافت. در مجموع نتایج نشان داد که استفاده از کودهای آلی و زیستی با مقدار کاهش یافته علف‌کش (۴۰ گرم ماده مؤثره) به همراه ماده افزودنی قادر است ماندگاری علف‌کش‌ها در خاک را کاهش دهد.

کلمات کلیدی: اچ‌پی‌ال‌سی، باقیمانده، مایکوریزا، نیمه عمر، ورمی کمپوست.

Effect of organic and biofertilizers and HydroMax adjuvant on nicosulfuron persistence in soil

Ebrahim Mamnoie¹, Ebrahim Izadi-Darbandi^{1*}, Mehdi Rastgoo¹, Mohammad Ali Baghestani²,
Mohammad Hasanzade Khayat³

1. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad 2. Iranian Plant Protection Research Institute, 4.
Faculty of Pharmacy, Mashhad University of Medical Sciences,
(Received: October 21, 2019 - Accepted: March 19, 2020)

ABSTRACT

To study the effect of hydromax adjuvant and the application of organic and biofertilizers on the persistence of nicosulfuron herbicide in the soil, an experiment was carried out as a factorial arrangement based on completely randomized block design with three replications during 2014-2015. Experimental treatments were cow manure, vermicompost, mycorrhiza biofertilizer and a control treatment as the first factor, use of 80 and 40 g a.i ha⁻¹ of the recommended dose of nicosulfuron herbicide as the second factor, and the use of Hydromax adjuvant and without adjuvant as the third factor. To determine nicosulfuron residual in the soil, sampling was done from 0-15 cm depth of soil at different intervals of 0, 2, 5, 8, 16, 30, 60, 90 days after spraying and then the herbicide residue was determined using HPLC. Results showed that nicosulfuron soil residue increased by the increasing of its dose. By increasing the herbicide dose, degradation rate decreased from 0.039 to 0.037 µg/kg soil⁻¹/day, but half-life increased from 17.77 to 18.83 days. Also nicosulfuron degradation rate decreased from 0.037 to 0.034 µg/kg/day and half-life increased from 18.73 to 20.39 days in soil when Hydromax adjuvant applied with nicosulfuron at 80 g a.i ha⁻¹. On the other hand, degradation rate of nicosulfuron increased from 0.037 to 0.061, 0.056 and 0.051 µg/kg soil⁻¹/day, and half-life values decreased from 18.73 to 11.36, 12.38 and 13.59 days in soil when organic and biofertilizers applied with nicosulfuron at 80 g a.i ha⁻¹ without adjuvant. Our results showed that the application of organic and biofertilizers with reduced dose of nicosulfuron (40 g a.i ha⁻¹) and application of hydromax adjuvant can lead to the decrease of persistence herbicide in the soil.

Keywords: Half-life, HPLC, mycorrhiza, residue, vermicompost.

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

۱- و 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

(Ghassam et al., 2010; James & Trollove, 2009) به اثبات رسیده است. کاهش مصرف علف‌کش‌ها از طریق بهینه‌سازی مصرف و افزایش کارایی آن‌ها از مواردی است که در کاهش پسماند علف‌کش‌ها در خاک مؤثر است. در این ارتباط، استفاده از مواد افزودنی با مقادیر کاهش یافته علف‌کش، یکی از راهکارهایی است که امروزه کاربرد فراوانی دارد (Hammami et al., 2014). مواد افزودنی به دلیل افزایش مقدار جذب علف‌کش به درون بافت‌های گیاهی، سبب بهبود کارایی علف‌کش‌ها می‌شوند. این عمل از طریق کاهش سطحی و افزایش تماس با سطح هدف، افزایش نگهداری محلول پاششده شده، حل کوتیکول برگ و تشدید مکانیسم محبوس شدن یونها انجام می‌شود (Aliverdi & Zand, 2014). از سوی دیگر، تاثیر مواد افزودنی بر باقیمانده علف‌کش‌ها در خاک به اثبات رسیده است. مواد افزودنی با کاهش مقدار آبخوبی در پروفیل خاک (Reddy, 1993) سبب افزایش ماندگاری علف‌کش در خاک می‌شوند (Kucharski, 2004, 2007)، به طوری که با کاربرد مواد افزودنی بیواتپولان^۹ (فرم روغن کلزای متیله شده) و مویان^{۱۰} بریک‌ترو^{۱۱} (مویان پلی متیل سیلوزان کپولیمر)، سرعت تجزیه علف‌کش فن‌مدیفام در گیاه و خاک کاهش و ماندگاری آن افزایش یافت (Kucharski & Sadowski, 2009b). همچنین کاربرد ماده افزودنی المیکس^{۱۲} (روغن معدنی)، ترند (مویان) و بکرو^{۱۳} (مویان غیر یونی) با علف‌کش کلریدازن^{۱۴} قادر است سرعت تجزیه

با وجود کارایی علف‌کش‌ها در کنترل علف‌های هرز، کاربرد نامتعارف آن‌ها، پیامدهای نامطلوب زیست محیطی، تغییر فلور و مقاومت علف‌های هرز و تهدید سلامت بشر را در پی دارد (Mueller & Senseman, 2015). همچنین پسماند علف‌کش‌ها با فعالیت‌های خاکی بالا در خاک نیز اثرات سوئی بر پایداری اکوسیستم خاک در بوم نظام‌های زراعی و محدودیت‌های تناوب‌های زراعی دارد (Mueller & Senseman, 2015).

نیکوسولفورون از علف‌کش‌های گروه سولفونیل اوره و بازدارنده آنزیم استولاکتات سینتاز است که کاربرد آن در مزارع ذرت ثبت شده است (Zand & Baghestani, 2007). کاربرد این علف‌کش‌ها به دلیل کارایی بالا و پایین بودن مقدار مصرف در هکتار، در حال افزایش است. از سوی دیگر، ریسک مقاومت بالای این گروه از علف‌کش‌ها و فعالیت خاکی و پسماند فعال آن‌ها در خاک قادر است مشکلات زیادی را در تناوب زراعی ایجاد کند (Zand & Baghestani, 2007). در این ارتباط، خسارت بقایای علف‌کش‌های کلروسولفورون، مت‌سولفورون و تریاسولفورون بر نخود^۱ و عدس^۲ (Halloway et al., 2006)، تری‌بنورون بر چغندر قند^۳، عدس و کلزا^۴ (Izadi et al., 2013)، سولفوسولفورون بر کلزا و سویا^۵ (Santin-Montanya et al., 2006; Hadizadeh, 2008)، نیکوسولفورون+ریم‌سولفورون بر عدس، کلزا، چغندر قند (Shahbazi et al., 2015)، خردل^۶، شاهی^۷ و یولاف^۸ برای نیکوسولفورون

^۹ Atpolan Bio 80 EC (methylated esters of fatty acids from rape oil)

^{۱۰} Surfactant

^{۱۱} Break Thru 240 EC (polymethylsiloxane copolymer surfactant)

^{۱۲} Olemix 84 EC (mineral oil SAE 10/95)

^{۱۳} BackRow

^{۱۴} chloridazon

^۱ *Cicer arietinum* L.

^۲ *Lens culinaris* L.

^۳ *Beta vulgaris* L.

^۴ *Brassica napus* L.

^۵ *Glycine max* L.

^۶ *Brassica alba* L.

^۷ *Lepidium sativum* L.

^۸ *Avena fatua* L.

علف‌کش را کاهش و ماندگاری آن در خاک را افزایش دهد (Kucharski *et al.*, 2012).

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تاثیر کاربرد کودهای آلی و ماده افزودنی هیدرومکس بر ماندگاری علف‌کش نیکوسولفورون در بستر کاشت ذرت، آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انجام گرفت. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح آماری بلوک کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل کاربرد کودهای آلی و زیستی در چهار سطح کود گاوی (۴۰ تن در هکتار)، کود رومی کمپوست (۱۰ تن در هکتار)، کود بیولوژیک مایکوریزا (۲/۵ تن در هکتار) و شاهد بدون کاربرد کود آلی به عنوان فاکتور اول، مقادیر کاربرد علف‌کش نیکوسولفورون (SC) ۰/۴ (در دو سطح ۴۰ و ۸۰ گرم ماده مؤثره در هکتار، معادل یک و دو لیتر ماده تجارتي در هکتار از شرکت مشکفام به عنوان فاکتور دوم و کاربرد و عدم کاربرد ماده افزودنی هیدرومکس (۹۰ درصد عصاره یوکا، دو درصد اسید هیومیک و پنج درصد مویان از شرکت آرمان سبز) به میزان نیم درصد حجمی به عنوان فاکتور سوم بودند. لازم به ذکر است که هیدرومکس، ماده افزودنی منتخب نتیجه آزمایش مقایسه تاثیر ده ماده افزودنی در افزایش کارایی علف‌کش نیکوسولفورون در کنترل علف‌های هرز در شرایط گلخانه‌ای بود (Mamnoie *et al.*, 2018).

کشت در زمینی که به مدت چهار سال، هیچ گونه کاشت، کود شیمیایی، آلی و زیستی و آفت‌کش در آن استفاده نشده بود انجام گرفت. بافت خاک محل آزمایش سیلتی لوم، وزن مخصوص ظاهری آن ۱/۵۷ گرم در سانتیمتر مکعب) و میزان اسیدیته آن برابر ۷/۸۵ بود. همچنین هدایت الکتریکی خاک برابر با ۴/۵

تجزیه علف‌کش‌ها در خاک، تحت تاثیر بافت خاک، مقدار آهک، فعالیت زیستی، دما و رطوبت قرار دهد (Okafor *et al.*, 2006). کودهای آلی و زیستی از طریق افزایش نفوذپذیری و کاهش وزن مخصوص خاک، سبب بهبود ساختمان خاک (RiveraCrus *et al.*, 2008) و افزایش نگهداری آب و مواد غذایی خاک می‌شوند (Kodesova *et al.*, 2010)؛ در نتیجه جمعیت میکروبی را تقویت می‌کنند و فعالیت میکروبی خاک را بهبود می‌بخشند (Rathod & Patel, 2010; Kanissery & Sims, 2011) و سرعت تجزیه آفت‌کش‌ها را افزایش و ماندگاری آن‌ها در خاک را کاهش می‌دهند (Kodesova *et al.*, 2010). در این ارتباط گزارش شده است که کوه‌های گاوی، رومی کمپوست و زیستی قادرند جمعیت میکروبی خاک را ۸۶ درصد کاهش دهند. همچنین می‌توانند سرعت تجزیه علف‌کش متری بیوزین و نیمه عمر آن را به ترتیب ۳۷ درصد افزایش و ۵۲ درصد کاهش دهند (Shahgholi *et al.*, 2014). سایر گزارش‌ها حاکی از آن است که کاربرد کودهای آلی و زیستی قادرند سرعت تجزیه علف‌کش را افزایش و ماندگاری تری فلورالین (Barzoei *et al.*, 2016) و متری بیوزین (Fakhrerad *et al.*, 2013) در خاک را کاهش دهند.

با توجه به کاربرد فراوان علف‌کش نیکوسولفورون در مزارع ذرت کشور و این‌که تاکنون مطالعات چندانی در ارتباط با ماندگاری این علف‌کش در خاک انجام نشده است، این پژوهش به‌منظور بررسی تاثیر کودهای آلی و زیستی و ماده افزودنی هیدرومکس بر ماندگاری نیکوسولفورون در شرایط خاک مزرعه انجام شد.

دسی‌زیمنس بر متر، میزان کربن آلی آن برابر با ۰/۶۸ درصد) و مقادیر نیتروژن، پتاسیم و فسفر قابل جذب به ترتیب برابر با ۰/۰۷۲، ۱۸۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی علف کش نیکوسولفورون

Table 1. Some physicochemical properties of nicosulfuron herbicide

نقطه ذوب Melting Point	فشار بخار Vapor Pressure:	ضریب جذب خاک Kd (L kg ⁻¹)	ثابت تفکیک اسیدی pKa	ضریب توزیع بین آب و اکتانول و اکتانول Log Kow	نیمه عمر (روز) Half-life (day)
۱۴۴-۱۴۱°C	1.2 × 10 ⁻¹⁶	0.2 to 0.47	4.6 (25° C)	-2 (pH 9) -1.77 (pH 7) -0.36 (pH 5)	6 (Cheryl et al., 2002) 13 (Wu et al., 2010) 60 (Sabaie, 2002)

Log Kow: ضریب توزیع بین آب و اکتانول، Kd: ضریب جذب خاک، pKa: ثابت تفکیک اسیدی

Log Kow: Octanol- water partition coefficient, Kd: Soil sorption coefficient, pKa: Acid dissociation constant

جدول ۲- برخی ویژگی‌های کودهای آلی و زیستی آزمایش

Table 2. Some characteristics of organic and biological fertilizers applied in the experiment

Fertilizer	mg/kg			OC (%)	EC (ds/m ²)	pH
	N	K	P			
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

OM: ماده آلی، OC: کربن آلی

OM: Organic Mater, OC: Organic carbon

سمپاشی در مرحله سه تا چهار برگی علف‌های هرز، با استفاده از سمپاش پشتی لانس‌دار فشار ثابت، مجهز به نازل شره‌ای با فشار ثابت ۲۰۰ کیلو پاسکال (معادل دو بار) در مرحله چهار تا پنج برگی ذرت انجام شد.

برای تعیین ماندگاری علف‌کش، نمونه برداری از عمق صفر تا ۱۵ سانتی متری خاک در فواصل زمانی صفر (دوساعت بعد از سمپاشی)، دو، پنج، هشت، ۱۶، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ روز پس از سمپاشی، با استفاده از آگری به قطر هفت سانتیمتر، از شش نقطه به صورت تصادفی انجام شد (Konda & Pasztor, 2001). نمونه‌ها بعد از خشک شدن در دمای اتاق، با استفاده از الک دو میلی متری الک شدند و تا مرحله استخراج علف‌کش و آنالیز دستگاهی، در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Rouchaud et al., 1995).

برای استخراج باقیمانده نیکوسولفورون از خاک، ۱۰

عملیات آماده سازی بستر کاشت شامل شخم و دیسک عمود بر هم بود. کاشت ذرت (رقم ۷۰۴) در واحدهای آزمایشی (کرت) به ابعاد سه × هشت متر مربع، با دست و در تاریخ ۹۳/۳/۱۰ انجام شد. هر کرت آزمایش دارای پنج خط کشت به فواصل ۷۰ × ۲۰ سانتی‌متر با تراکم ۱۴۰۰ بوته در هکتار بود. فاصله بین واحد آزمایش (کرت) یک خط نکاشت و بین بلوک‌های آزمایش دو متر در نظر گرفته شد. آبیاری به صورت تحت فشار و نشتی بود. میزان ۴۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار طی سه مرحله (قبل از کاشت، مرحله پنج تا هفت برگی، تشکیل گل آذین نر) و ۱۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم در هکتار در زمان آماده سازی بستر کاشت به صورت یکنواخت به خاک اضافه شد. پس از آماده‌سازی بستر کاشت، مقادیر کودهای آلی و زیستی بر اساس تیمارهای آزمایش، به صورت یکنواخت در کرت‌های آزمایشی، پخش و با لایه سطحی خاک مخلوط شدند.

متر و قطر خارجی ۴۵ میلی‌متر مجهز بود. دستگاه فوق مجهز به یک سیستم خارج کننده گاز و پمپ ۶۰۰۰A بود. فاز متحرک مورد استفاده شامل آب دیونیزه: استونیتریل: استیک اسید، به ترتیب با نسبت حجمی ۳۰:۷۰:۰/۲ 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 ۰/۴۵ میکرومتری عبور داده شد. طول موج حداکثر جذب برای نیکوسولفورون، با دستگاه اسپکتروفتومتر، برابر با ۲۳۸ نانومتر تعیین شد. قبل از تزریق نمونه‌های مجهول به دستگاه، محلول استاندارد نیکوسولفورون با خلوص ۹۹/۶ درصد از شرکت سیگماآلد ریچ تهیه شد و پس از تزریق به دستگاه، محل ظهور پیک علف‌کش و زمان بازداری نیکوسولفورون (۱۶/۱۹ دقیقه) مشخص شد (شکل ۱). برای تعیین حد تشخیص^۶ (LOD) دستگاه، از روش سیگنال به نویز^۷ ($\frac{3S}{N}$) استفاده شد. برای این منظور، با تزریق شش تکرار از غلظت‌های مختلف ۰/۵، ۰/۱ و ۰/۰۱ میکروگرم در لیتر به دستگاه، در نقطه‌ای که نسبت ارتفاع سیگنال، سه برابر ارتفاع نویز شود، حد تشخیص دستگاه (LOD) تعیین شد (Shrivastava & Gupta, 2011).

برای تعیین سرعت تجزیه نیکوسولفورون، از معادله سینتیک درجه یک (معادله ۱) استفاده شد (Muller et al., 2003).

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

در این معادله، C_t : غلظت نیکوسولفورون در زمان t ، C_0 : غلظت اولیه نیکوسولفورون (میکروگرم در کیلوگرم خاک) و k : سرعت تجزیه (میکروگرم در کیلوگرم خاک

گرم خاک مربوط هر تیمار، درون لوله‌های درب‌دار ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و ۳۰ میلی‌لیتر مخلوط استونیتریل، به همراه آب دیونیزه، به ترتیب با نسبت دو: سه درصد حجمی اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه با استفاده از شیکر افقی تکان داده شد. سپس برای تفکیک فاز مایع، نمونه‌ها به سانتریفیوژ چهار هزار دور در دقیقه به مدت پنج دقیقه انتقال داده شد. فاز مایع جدا شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شد. برای تنظیم اسیدیته محلول (pH ≤ ۵)، ۰/۵ میلی‌لیتر محلول اسید کلریدریک شش نرمال و شش گرم کلرید سدیم به آن اضافه شد و ۳۰ ثانیه با شیکر تکان داده شد. سپس ۱۵ میلی‌لیتر دی‌کلرومتان اضافه شد و به مدت ۳۰ ثانیه با شیکر تکان داده شد. پس از آن، ظرف به مدت پنج دقیقه بی‌حرکت ماند تا فاز آلی از فاز آبی جدا شود. سپس مرحله اضافه کردن ۱۵ میلی‌لیتر دی‌کلرومتان به باقی مانده عصاره دوباره تکرار شد تا باقیمانده فاز آلی جداسازی شود. تغلیظ محلول جمع آوری شده با دستگاه تبخیر چرخشی خلاء (روتاری اواپراتور) در حمام آب گرمی با دمای ۴۵ درجه سانتیگراد انجام شد. سپس یک میلی‌لیتر استونیتریل به ظرف اضافه شد و پس از عبور از فیلتر آلی ۰/۴۵ 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 تجزیه ای^۱ از شرکت مرک^۲ استفاده شدند. تعیین باقیمانده علف‌کش در آزمایشگاه پژوهشکده تحقیقات بوعلی دانشگاه علوم پزشکی مشهد انجام گرفت. مدل دستگاه HPLC^۳ شیمادزو^۴ و ساخت ژاپن بود که به آشکارساز اسپکتروفتومتریکی یووی^۵ با ستون فاز معکوس C₁₈ از جنس بدنه استیل به طول ۲۵۰ میلی

^۵ UV- Vis

^۶ Limit of detection

^۷ Signal-to-noise ratio

^۱ Analytical grade

^۲ Merck

^۳ High performance liquid chromatography

^۴ Shimadzu SCL- 10AVP

افزایش مقدار مصرف علف‌کش نیکوسولفورون، مقدار باقیمانده آن در خاک افزایش یافت (شکل ۱). در این ارتباط، استرک (Strek, 2005) گزارش کرد که با افزایش مقدار علف‌کش، مقدار باقیمانده آن در خاک افزایش می‌یابد. مقدار باقیمانده علف‌کش، به ساختار ملکولی آفت‌کش و شرایط محیطی مؤثر بر سرعت تجزیه علف‌کش بستگی دارد (Tiryaki & Temut, 2010).

از سوی دیگر، نتایج نشان داد که مقدار باقیمانده نیکوسولفورون در طول زمان کاهش یافت و روند کاهش باقیمانده علف‌کش در زمان، از یک معادله سینتیکی درجه اول پیروی نمود (شکل ۲). همچنین کاربرد ماده آلی توانست سرعت تجزیه علف‌کش در طول زمان را تسریع کند، به طوری که باقیمانده نیکوسولفورون در تیمارهای کاربرد کودهای آلی، ورمی کمپوست، مایکوریزا و شاهد ۹۰ روز پس از سمپاشی، به ترتیب دو، سه، پنج و ۱۳ درصد بود (شکل ۲). این نتایج با گزارش‌های (James Barzoei et al., 2016; Rathod & Patel, 2010; et al., 1999) مطابقت دارد. مقدار مصرف علف‌کش نیکوسولفورون، تاثیر معنی‌دار بر سرعت تجزیه و نیمه عمر آن نداشت اما با افزایش مقدار مصرف علف‌کش در شرایط بدون کاربرد کودهای آلی و ماده افزودنی (شاهد)، سرعت تجزیه نیکوسولفورون کاهش و نیمه عمر آن افزایش یافت (جدول ۳)، به طوری که، سرعت تجزیه نیکوسولفورون در خاک، در تیمارهای کاربرد ۴۰ و ۸۰ گرم در هکتار در تیمار شاهد (بدون کاربرد کودهای آلی و ماده افزودنی)، به ترتیب ۰/۰۳۹ و ۰/۰۳۷ میکروگرم در کیلوگرم در روز بود و مدت زمان لازم برای کاهش ۵۰ و ۹۰ درصد باقیمانده نیکوسولفورون در مقادیر کاربرد ۴۰ گرم در هکتار، به ترتیب ۱۷/۷۷ و ۱۸/۷۳ و در تیمار ۸۰ گرم در هکتار، به ترتیب ۵۹/۰۵ و ۶۲/۲۳ روز بود (جدول ۳). در مطالعات قبل نیز مشخص شد که مقدار

در روز) و t زمان (روز) می‌باشد. برای تعیین نیمه عمر و زمان لازم برای تجزیه ۹۰ درصد نیکوسولفورون از معادله دو و سه استفاده شد (Muller et al., 2003).

$$DT_{50} = \frac{\ln 2}{k} \quad (\text{معادله ۲})$$

$$DT_{90} = \frac{\ln 10}{k} \quad (\text{معادله ۳})$$

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

(معادله ۴) (اشتباه معیار آماره) $(t_{0.05, df}) \pm \text{آماره} = \text{حدود اطمینان}$

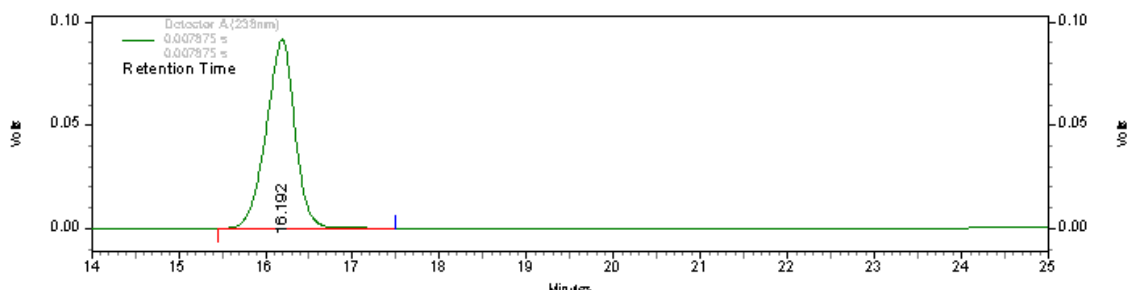
در این معادله، پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل ضریب تجزیه علف‌کش (k)، شیب خط (b) یا ED_{50} یا ED_{90} بودند و اشتباه معیار آماره نیز همان خطای استاندارد پارامترها بود که بعد از اضافه و کم کردن خطای استاندارد به پارامتر مورد نظر، دامنه پارامتری تعیین شد. سپس از طریق مقایسه دامنه پارامترهای آماری از طریق همپوشانی یا عدم همپوشانی آن‌ها، گروه‌بندی پارامترها انجام شد. لازم به ذکر است که با توجه این که مقدار t محاسبه شده جدول در کلیه مقایسه‌ها ثابت بود، از معادله حذف شد (Soltani, 2014).

نتایج و بحث

حد تشخیص دستگاه برای اندازه‌گیری نیکوسولفورون در این آزمایش، ۰/۰۱ میکروگرم در کیلوگرم بود. در مطالعات قبل نیز حد تشخیص دستگاه برای نیکوسولفورون، ۰/۰۱ میکروگرم در کیلوگرم (Lazic & Sunjka, 2014)، ۰/۰۰۲ میکروگرم در کیلوگرم (James & Trolove, 2009) و ۰/۰۵ نانوگرم در کیلوگرم (Wu et al., 2010) گزارش شده است. با

بر سرعت تجزیه و نیمه عمر این علف‌کش در خاک
نداشت (Barzoei et al., 2016).

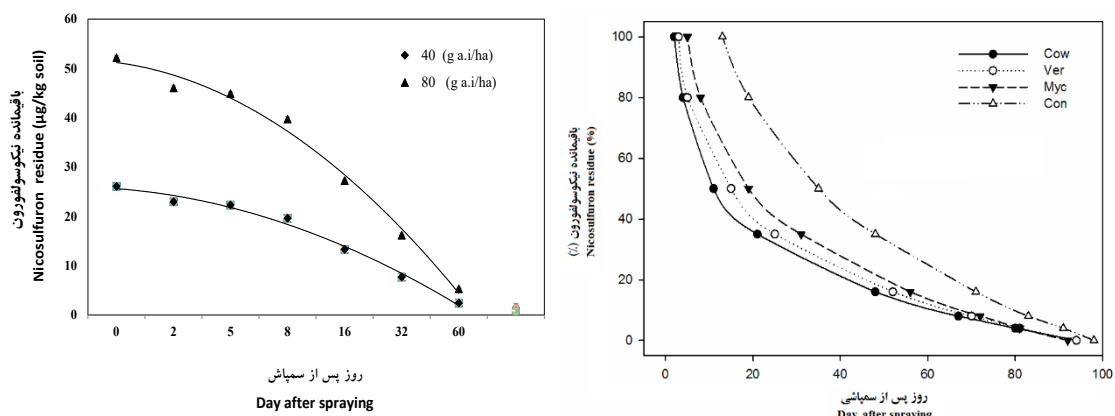
کاربرد علف‌کش‌های پریمی‌سولفورون و
مت‌سولفورون متیل، کلروسولفورون
(James et al., 1999) و تریفلورالین، تأثیر معنی‌داری



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

شکل ۱- ویژگی‌های منحنی استاندارد نیکوسولفورون

Fig 1. Characteristics curve standard of nicosulfuron



شکل ۲- تأثیر مقدار کاربرد نیکوسولفورون (چپ) و کود آلی (راست) بر باقیمانده نیکوسولفورون در خاک. Cow: کود گاوی، Ver: ورمی‌کومپوست، Myc: میکوریزا و Con: شاهد

Fig 2. Effect of nicosulfuron dose (left) and biofertilizers (right) on nicosulfuron residue in the soil. Cow: Cow manure, Ver: Vermicompost, Myc: Mycorrhiza and Con: Control.

گزارش‌های دیگر نشان داده است که با افزایش مقدار
مصرف علف‌کش آترازین و توفوردی، سرعت تجزیه
علف‌کش، کاهش و ماندگاری آن‌ها در خاک، افزایش
می‌یابد (Nosrati et al., 2007). همچنین گزارش شده
است با افزایش مقدار کاربرد تریفلورالین (Tiryaki &

Temut, 2010)، تریاسولفورون (James et al., 1999)،
مت‌سولفورون (El-Ghamary et al., 2000) و آترازین
(Izadi, 2014)، ماندگاری علف‌کش در خاک افزایش
می‌یابد.

جدول ۳- اثر مقدار کاربرد نیکوسولفورون بر سرعت تجزیه و طول عمر آن

Table 3. Effect of nicosulfuron dose on its degradation rate and half-life

Nicosulfuron (g a.i ha ⁻¹)	K (µg/kg soil)	C ₀ (µg/kg soil)	DT ₅₀ (day)	DT ₉₀ (day)	R ²
40	0.039 (0.001) ^a	25.95 (0.45)	17.77	59.05	0.99
80	0.037 (0.001) ^a	51.90 (0.91)	18.73	62.23	0.99

DT₅₀ و DT₉₀: به ترتیب نیمه عمر و مدت زمانی که ۹۰ درصد علف‌کش تجزیه می‌شود، k: ضریب تجزیه علف‌کش و C₀: غلظت اولیه علف‌کش نیکوسولفورون.

حروف مشابه در هر ستون، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است. اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد است
DT₅₀ and DT₉₀: Half and time required to 90% of herbicide residue degradation in the soil, K: Coefficient of degradation, and C₀: Initial concentration of nicosulfuron in the soil. Means with the same letters in the same column are not significantly different (P<0.05). Numbers in parentheses are standard errors.

درصد باقیمانده علف‌کش در خاک (DT₉₀) افزایش یافت (جدول ۴). نیمه عمر نیکوسولفورون (DT₅₀) در تیمارهای کاربرد ۴۰ گرم علف‌کش در هکتار، با و بدون هیدرومکس، به ترتیب ۱۷/۷۷ و ۱۹/۲۵ روز بود. همچنین نیمه عمر آن در تیمار کاربرد ۸۰ گرم در هکتار، با و بدون هیدرومکس، به ترتیب ۲۰/۳۹ و ۱۸/۷۳ روز بود. از سوی دیگر، مدت زمان لازم برای کاهش ۹۰ درصد باقیمانده علف‌کش در خاک (DT₉₀) نیز از روند مشابهی برخوردار بود. کاربرد هیدرومکس به همراه مصرف ۴۰ و ۸۰ گرم نیکوسولفورون در هکتار، در مقایسه شاهد بدون هیدرومکس توانست نیمه عمر نیکوسولفورون (DT₅₀) را به ترتیب ۱/۴۸ و ۱/۶۶ روز افزایش دهد. همچنین مدت زمان لازم برای کاهش ۹۰ درصد باقیمانده علف‌کش در خاک (DT₉₀) را به ترتیب ۴/۹۱ و ۵/۴۹ روز افزایش داد (جدول ۴).

به نظر می‌رسد که افزایش ماندگاری علف‌کش‌ها، با تأثیر سمی علف‌کش بر میکروارگانیسم‌ها در ارتباط باشد که سبب کاهش فعالیت آنها می‌شود (Gupta & Gajbhiye, 2002) همچنین نامساعد بودن شرایط محیطی، سبب کاهش واکنش‌های شیمیایی و تجزیه علف‌کش در خاک می‌شود (Chowdhury et al., 2008). ماده افزودنی هیدرومکس، سرعت تجزیه نیکوسولفورون را به طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۴). به طوری که سرعت تجزیه در تیمارهای کاربرد ۸۰ و ۴۰ گرم نیکوسولفورون در هکتار، در شرایط بدون هیدرومکس، به ترتیب ۰/۰۳۷ و ۰/۰۳۹ میکروگرم در کیلوگرم خاک در روز بود که با کاربرد هیدرومکس، به ترتیب ۰/۰۳۶ و ۰/۰۳۴ میکروگرم در کیلوگرم خاک در روز کاهش یافت. اما با کاربرد هیدرومکس، نیمه عمر علف‌کش (DT₅₀) و مدت زمان لازم برای کاهش ۹۰

جدول ۴- اثر مقدار کاربرد نیکوسولفورون و هیدرومکس بر سرعت تجزیه و ماندگاری آن در خاک

Table 4. Effect of nicosulfuron dose and hydromax applications on herbicide degradation rate and its persistence in soil.

Nicosulfuron (g a.i ha ⁻¹)	Adjuvant	K (µg/kg soil)	C ₀ (µg/kg soil)	DT ₅₀ (day)	DT ₉₀ (day)	R ²
40	-	0.039 (0.001) ^a	25.95 (0.45)	17.77	59.05	0.99
	Hydromax	0.036 (0.001) ^b	25.96 (0.95)	19.25	63.96	0.99
80	-	0.037 (0.001) ^a	51.90 (0.91)	18.73	62.23	0.99
	Hydromax	0.034 (0.0004) ^c	52.02 (0.10)	20.39	67.72	0.99

DT₅₀ و DT₉₀: به ترتیب نشانگر مدت زمانی که ۵۰ و ۹۰ درصد علف‌کش تجزیه می‌شود، k: ضریب تجزیه علف‌کش و C₀: غلظت اولیه علف‌کش نیکوسولفورون.

حروف مشابه در هر ستون، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است. اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد است
DT₅₀ and DT₉₀: Time required to 50 and 90% of herbicide residual degradation in soil, K: Coefficient of degradation, and C₀: initial concentration of nicosulfuron in the soil. Means with the same letters are not significantly different (P<0.05). Numbers in parentheses are standard errors

تجزیه علف‌کش می‌تواند بر ماندگاری علف‌کش مؤثر

مطالعات نشان داده‌اند که مواد افزودنی، با تأثیر بر روند

(Kucharski, 2007) نیز گزارش شده است. با کاربرد کودهای آلی و زیستی، سرعت تجزیه علف‌کش نیکوسولفورون افزایش و ماندگاری آن کاهش یافت (جدول ۵)، به طوری که سرعت تجزیه نیکوسولفورون در تیمارهای کاربرد کود گاوی، ورمی کمپوست، مایکوریزا و شاهد (بدون کود) در تیمار کاربرد ۸۰ گرم نیکوسولفورون در هکتار و بدون هیدرومکس، به ترتیب ۰/۰۶۱، ۰/۰۵۶ و ۰/۰۵۱، ۰/۰۳۷ میکروگرم در کیلوگرم در روز بود و در تیمارهای کاربرد ۴۰ گرم نیکوسولفورون در هکتار و بدون هیدرومکس، سرعت تجزیه به ترتیب ۰/۰۶۶، ۰/۰۶ و ۰/۰۵۵ و ۰/۰۳۹ میکروگرم در کیلوگرم در روز بود (جدول ۵). تیمارهای کودهای آلی و زیستی با افزایش سرعت تجزیه علف‌کش قادرند نیمه عمر نیکوسولفورون را کاهش دهند. در این ارتباط، نیمه عمر نیکوسولفورون (DT₅₀) در تیمارهای کاربرد کودهای گاوی، ورمی کمپوست و مایکوریزا با کاربرد ۸۰ گرم نیکوسولفورون در هکتار و بدون هیدرومکس، به ترتیب ۱۱/۳۶، ۱۲/۳۸ و ۱۳/۵۹ روز بود که نسبت به شاهد بدون کاربرد کود (۱۸/۷۳ روز)، به ترتیب ۶/۳۷، ۶/۳۵ و ۵/۱۴ روز کاهش یافت. همچنین نیمه عمر نیکوسولفورون (DT₅₀) در تیمارهای کاربرد کودهای گفته شده و کاربرد ۴۰ گرم نیکوسولفورون در هکتار و بدون هیدرومکس، به ترتیب ۱۱/۵۵ و ۱۲/۶۰ روز بود که نسبت به شاهد بدون کود آلی (۱۷/۷۷ روز)، به ترتیب ۷/۲۷، ۶/۲۲ و ۵/۱۷ روز کاهش یافت. همچنین مدت زمان لازم برای کاهش ۹۰ درصد باقیمانده علف‌کش در خاک (DT₉₀) نیز روندی مشابهی

باشند (Kucharski, 2004; Kucharski, 2007). از آنجا که آفت‌کش‌ها مواد زیست‌بیگانه^۱ با ساختار مولکولی پیچیده‌ای هستند، میکروارگانیسم‌ها تمایل کمتری برای استفاده از آن‌ها به عنوان منبع کربن برای تغذیه دارند (Cobb & Reade, 2010)؛ در مقابل، میکروارگانیسم‌ها تمایل بیشتری برای استفاده از مواد افزودنی که دارای ساختار مولکولی ساده‌تری هستند (Kucharski and Sadowski, 2006) دارند. در همین ارتباط، گزارش‌های متعددی نشان داده است که کاربرد موارد افزودنی قادر است ماندگاری علف‌کش‌ها را افزایش دهد (Kucharski, 2004; Kucharski, 2007). کاربرد مواد افزودنی البراس^۲ (روغن کلزای میتله شده) و ترند^۳، سرعت تجزیه علف‌کش اتوفومسات را کاهش و نیمه عمر آن را هشت روز افزایش داد (Kucharski & Sadowski, 2009). کاربرد ماده افزودنی آپلوس^۴ (روغن پارافین)، آدپروس^۵ (اسید چرب تصفیه شده) و ترند^۶ (مویان^۱) (Kucharski & Sadowski, 2006) و المیکس^۷ (روغن معدنی)، آکتیروب^۸ (اسید چرب میتله شده روغن کلزا) و بریک‌ترو^۹ (مویان، کپلیمر پلی‌متیل‌سیکلوهاگزان) (Kucharski, 2004; Kucharski, 2007) قادر است ماندگاری علف‌کش‌های فن‌مدیفام^{۱۰}، دس‌مدیفام^{۱۱} و اتوفومسات^{۱۲} در خاک و ریشه چغندر قند را افزایش دهد. افزایش ماندگاری علف‌کش با کاربرد مواد افزودنی در علف‌کش تریفلورالین (Swarcewicz *et al.*, 1998)، آترازین (Swarcewicz and Mulinski, 1996)، لینورون (Rodriguezcruz *et al.*, 2007)، فن‌مدیفام (Rodriguezcruz *et al.*, 2007)، دس‌مدیفام و اتوفومسات (Kucharski, 2004)

^۱ Olemix 84 EC^۲ Actirob 842 EC^۳ Break Thru S-240^۴ Phenmedipham^۵ Desmedipham^۶ Ethofumesate^۱ Xenobiotic^۲ Olbras® 88 EC^۳ Atplus 60 EC^۴ Adpros 85 SL (post- refined fatty acid)^۵ Trend 90 EC^۶ Ethoxylated isodecyl alcohol -surfactant

داشت (جدول ۵).

جدول ۵- اثر کود آلی و زیستی و مقدار کاربرد نیکوسولفورون بر سرعت تجزیه و ماندگاری آن در خاک

Table 5. Effect of organic and biofertilizers and nicosulfuron dose on nicosulfuron degradation rate and its persistence in soil.

Fertilizer	Nicosulfuron (g a.i ha ⁻¹)	K (µg/kg soil)	C ₀ (µg/kg soil)	DT ₅₀ (day)	DT ₉₀ (day)	R ²
Cow manure	40	0.066 (0.001) ^a	25.76 (0.26)	10.50	34.89	0.99
	80	0.061 (0.001) ^{bc}	49.54 (0.51)	11.36	37.75	0.99
Vermicompost	40	0.06 (0.001) ^c	24.77 (0.25)	11.55	38.38	0.99
	80	0.056 (0.001) ^{de}	49.57 (0.50)	12.38	41.12	0.99
Mycorrhiza	40	0.055 (0.001) ^c	24.26 (0.24)	12.60	41.87	0.99
	80	0.051 (0.009) ^f	48.55 (0.48)	13.59	45.15	0.99
Control	40	0.039 (0.001) ^g	25.95 (0.45)	17.77	59.05	0.99
	80	0.037 (0.001) ^g	51.90 (0.91)	18.73	62.23	0.99

DT₅₀ و DT₉₀: به ترتیب نشانگر نیمه عمر و مدت زمانی که ۹۰ درصد علف‌کش تجزیه می‌شود، k: ضریب تجزیه علف‌کش و C₀: غلظت اولیه علف‌کش نیکوسولفورون. حروف مشابه در هر ستون، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است. اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد است
 DT₅₀ and DT₉₀: Time required to 50 and 90% of herbicide residual degradation in soil, K: Coefficient of degradation, and C₀: initial concentration of nicosulfuron in the soil. Means with the same letters are not significantly different (P<0.05). Numbers in parentheses are standard errors

سرعت تجزیه نیکوسولفورون در خاک قادرند مقدار باقیمانده علف‌کش را در خاک نسبت به تیمار شاهد (بدون کاربرد کودهای آلی) به طور معنی‌داری کاهش دهند، به طوری که نیمه عمر نیکوسولفورون (DT₅₀) در تیمارهای کاربرد کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست و مایکوریزا با کاربرد ۴۰ گرم نیکوسولفورون در هکتار به همراه هیدرومکس، به ترتیب ۱۱/۱۸، ۱۲/۱۶ و ۱۳/۳۳ روز بود که نسبت به تیمار شاهد بدون کاربرد کود آلی (۱۹/۲۵ روز) به ترتیب ۸/۰۷، ۷/۰۹ و ۵/۹۲ روز کاهش یافت. همچنین نیمه عمر نیکوسولفورون در تیمارهای کودهای آلی گفته شده با ۸۰ گرم نیکوسولفورون در هکتار به همراه هیدرومکس، به ترتیب ۱۲/۱۶، ۱۳/۰۸ و ۱۴/۴۴ روز بود که نسبت به تیمار شاهد بدون کاربرد کود آلی و زیستی (۲۰/۳۹ روز)، به ترتیب ۸/۲۳، ۷/۳۱ و ۵/۹۵ روز کاهش یافت. همچنین مدت زمان لازم برای کاهش ۹۰ درصد باقیمانده علف‌کش در خاک (DT₉₀) در تیمارهای گفته شده روند مشابهی داشت (جدول ۶).

منابع کودهای آلی عمدتاً از ترکیبات پتیدها، آمینواسیدها، کربوهیدرات‌ها و لیپیدها تشکیل شده‌اند

بر اساس گزارش‌ها قبلی، کاربرد کودهای آلی توانست سرعت تجزیه علف‌کش‌های متری‌بیوزین سولفوسولفورون (Mehdizadeh, 2012)، (Hadizadeh, 2008) و تریفلورالین (Barzoei et al., 2016) را افزایش و ماندگاری آن‌ها را کاهش دهد که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

کاربرد کودهای آلی و زیستی در تیمارهای نیکوسولفورون به همراه ماده افزودنی هیدرومکس توانست سرعت تجزیه نیکوسولفورون را نسبت به شاهد بدون کاربرد کود آلی به طور معنی‌داری افزایش دهد (جدول ۶). بر این اساس، سرعت تجزیه نیکوسولفورون در تیمارهای کاربرد کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست، مایکوریزا و شاهد، بدون کاربرد کود آلی با ۸۰ گرم علف‌کش به همراه هیدرومکس، به ترتیب ۰/۰۵۷، ۰/۰۵۳، ۰/۰۵۱ و ۰/۰۳۴ میکروگرم در کیلوگرم در روز بود. همچنین در تیمارهای کاربرد کودهای گفته شده با ۴۰ گرم نیکوسولفورون به همراه هیدرومکس، سرعت تجزیه علف‌کش به ترتیب به ۰/۰۵۷، ۰/۰۵۲ و ۰/۰۳۶ میکروگرم در کیلوگرم در روز رسید (جدول ۶). بر این اساس، کودهای آلی با افزایش

سرعت تجزیه آترازین افزایش و ماندگاری آن کاهش یافت (Izadi *et al.*, 2014). گزارش‌های متعدد دیگری حاکی از آن است که با افزودن مواد آلی به خاک، تجزیه علف‌کش‌های کلروسولفورون، تریاسولفورون، مت‌سولفورون‌متیل (Wang *et al.*, 2008)، ریم‌سولفورون (Perruci *et al.*, 2000)، آمیتروپ (Forouzangohar *et al.*, 2005)، سولفوسولفورون (Hadizadeh, 2008) کاهش یافت.

که با اضافه شدن به خاک (Tejada *et al.*, 2010) قادرند به عنوان منبع تأمین انرژی برای میکروارگانیسم خاک‌ها عمل کنند (Ramezani *et al.*, 2010)، به طوری که کودهای آلی با افزایش فعالیت میکروبی، آنزیمی و بیولوژیک خاک (Kanissery & Sims, 2011) سرعت تجزیه علف‌کش در خاک افزایش (Rahman *et al.*, 2010; Ramezani, 2010; Tejada *et al.*, 2010) را کاهش دادند. در این ارتباط گزارش شده است که با کاربرد کود گاوی،

جدول ۶- اثر کود آلی و زیستی، مقدار کاربرد نیکوسولفورون و هیدرومکس بر سرعت تجزیه و ماندگاری آن در خاک.

Table 6. Effect of organic and bio-fertilizers, nicosulfuron dose and hydromax applications on nicosulfuron degradation rate and its persistence in soil.

Fertilizer	Nicosulfuron (g a.i ha ⁻¹)	Adjuvant	K (µg/kg soil)	C ₀ (µg/kg soil)	DT ₅₀ (day)	DT ₉₀ (day)	R ²
Cow manure	40	-	0.066 (0.001) ^a	25.76 (0.26)	10.50	34.89	0.99
		Hydromax	0.062 (0.001) ^b	24.77 (0.25)	11.18	37.14	0.99
		-	0.061 (0.001) ^{bc}	49.54 (0.51)	11.36	37.75	0.99
Vermicompost	80	Hydromax	0.057 (0.001) ^c	49.47 (0.50)	12.16	40.39	0.99
		-	0.06 (0.001) ^c	24.77 (0.25)	11.55	38.38	0.99
		Hydromax	0.057 (0.001) ^d	24.78 (0.25)	12.16	40.40	0.99
Mycorrhiza	40	-	0.056 (0.001) ^{de}	49.57 (0.50)	12.38	41.12	0.99
		Hydromax	0.053 (0.0008) ^f	49.59(0.49)	13.08	43.44	0.99
		-	0.055 (0.001) ^e	24.26 (0.24)	12.60	41.87	0.99
Control	80	Hydromax	0.052 (0.009) ^{fg}	24.27 (0.24)	13.33	44.28	0.99
		-	0.051 (0.009) ^g	48.55 (0.48)	13.59	45.15	0.99
		Hydromax	0.048 (0.007) ^h	48.57 (0.47)	14.44	47.97	0.99
Control	40	-	0.039 (0.001) ⁱ	25.95 (0.45)	17.77	59.05	0.99
		Hydromax	0.036 (0.001) ^j	25.96 (0.95)	19.25	63.96	0.99
		-	0.037 (0.001) ⁱ	51.90 (0.91)	18.73	62.23	0.99
Control	80	Hydromax	0.034 (0.0004) ^k	52.02 (0.10)	20.39	67.72	0.99

DT₅₀ و DT₉₀: به ترتیب نشانگر نیمه عمر و مدت زمانی که ۹۰ درصد علف‌کش تجزیه می‌شود، k: ضریب تجزیه علف‌کش و C₀: غلظت اولیه علف‌کش نیکوسولفورون. حروف مشابه در هر ستون، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد است. اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد است. DT₅₀ and DT₉₀: Time required to 50 and 90% of herbicide residual degradation in soil, K: Coefficient of degradation, and C₀: initial concentration of nicosulfuron in the soil. Means with the same letters are not significantly different (P<0.05). Numbers in parentheses are standard errors

کودهای آلی، سرعت تجزیه علف‌کش را در خاک افزایش و ماندگاری آن را کاهش داد. بنابراین به نظر می‌رسد که با کاهش مصرف علف‌کش و افزایش سرعت تجزیه آن از طریق کاربرد کودهای آلی و زیستی، می‌توان ماندگاری علف‌کش‌ها را در خاک تا حد قابل توجهی کاهش داد و از خسارت‌های احتمالی آن‌ها به محصولات تناوب زراعی و آلودگی‌های زیست محیطی تا حدی جلوگیری نمود.

در مجموع نتایج نشان داد، اگرچه کاربرد ماده افزودنی، باقیمانده علف‌کش در خاک را افزایش می‌دهد اما به لحاظ تأثیر هم‌افزایی ماده افزودنی هیدرومکس در حفظ کارایی کنترل علف‌های هرز در تیمارهای کاهش یافته (۴۰ گرم نیکوسولفورون در هکتار) در شرایط مزرعه (Mamnoie *et al.*, 2017)، می‌توان با کاهش مصرف علف‌کش، ماندگاری علف‌کش را در خاک تا حد قابل قبولی کاهش داد. از سوی دیگر می‌توان با کاربرد

نتیجه‌گیری کلی

علف‌کش در خاک کاهش و ماندگاری آن در خاک افزایش یافت. از سوی دیگر، مشخص شد که با کاربرد کودهای گاوی، ورمی‌کمپوست و مایکوریزا، سرعت تجزیه نیکوسولفورون افزایش و نیمه عمر آن کاهش یافت. بنابراین به نظر می‌رسد که با کاربرد مقادیر کاهش یافته علف‌کش و استفاده از کودهای آلی و زیستی می‌توان ماندگاری علف‌کش‌ها را در خاک کاهش داد و از خسارت‌های احتمالی آن‌ها در محصولات حساس در تناوب زراعی و آلودگی‌های زیست محیطی را تا حدی جلوگیری کرد.

بر اساس نتایج آزمایش، باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در طول زمان کاهش یافت و روند کاهش باقیمانده علف‌کش در طول زمان، از یک معادله سینتیکی درجه اول پیروی نمود. همچنین با افزایش مقدار کاربرد نیکوسولفورون، پسماند و ماندگاری آن در خاک افزایش یافت اما مقدار کاربرد علف‌کش، تأثیر معنی‌داری بر سرعت تجزیه و نیمه عمر علف‌کش نداشت. با کاربرد هیدرومکس، سرعت تجزیه

منابع

- Aliverdi, A. and Zand, A. 2014. Adjuvant for Herbicides. In: Zand, A., Mousavi, S.K., Heydari, A., editors. Herbicides and their application methods with optimization and reduction approach. 2nd edn. Jahad-e-Daneshgahi, Ferdowsi University of Mashhad press. P: 310-347. (In Persian)
- 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(2): 177-178.
- Cheryl, A.P., Robert, M.H. and Thomas C.M. 2002. Dissipation of nicosulfuron and rimsulfuron in surface soil. J. Agric. Food Chem. 50: 4581-4585
- Chowdhury, A., Pradhan, S., Saha, M. and Sanyal, N. 2008. Impact of pesticides on soil microbiological parameters and possible bioremediation strategies. India J. Microb. 48: 114-127.
- Cobb, A.H. and Reade, J.P.H. 2010. Herbicides and Plant Physiology. 2nd edn. UK: Wiley-Blackwell. P: 176-199.
- El-Ghamary, A.M., Huang, C.Y., Xu, J.M. and Xie, Z.M. 2000. Changes in soil biological with the addition of metsulfuron methyl herbicide. J. Zhejiang Univ. Sci. 1: 442-447.
- Fakhrerad, S.F., Izadi Darbandi, E., Rashed-Mohassel 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(4): 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.
- Ghassam, A.H., Alizadeh, M., Bihamta, R. and Ashrafi, Y. 2010. Bioassay to use herbicide residue in corn using cress (*Lepidium sativum*) as sensitive plant. 3rd Iranian weed science congress. 17-18 February. Babolsar, Iran.
- Gupta, S. and Gajbhiye, V.T. 2002. Effect of concentration, moisture and soil type on the dissipation of flufenacet from soil. Chemospher. 47: 901-906.
- 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. (In Persian)
- Halloway, K.L., 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. Aust. J. Exp. Agric. 46(10): 1323-1331.
- Hammami, H., Aliverdi, A. and Parsa, M. 2014. Effectiveness of clodinafop-propargyl, haloxy fop-p-methyl and difenzoquat-methyl-sulfate plus Adigor® and Propel™ adjuvants in controlling *Avena ludoviciana* Durieu. J. Agri. Sci. Techno. 16: 291-299.
- 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 Prot. 26 (4): 362-369.
- Izadi-Darbandi, A. 2014. The fate and survival of herbicides in the agricultural ecosystem. In: Zand, A. Mousavi, S.K., Heydari, A. editors. Herbicides and their application methods with optimization and

- reduction approach. 2nd edn. Jahad-e- Daneshgahi, Ferdowsi University of Mashhad press. P: 415-446. (In Persian)
- 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.
- Kanissery, R.G. and Sims, G.K. 2011. Biostimulation for the enhanced degradation of herbicides in soil. *Appl. Environ. Soil Sci.* 1-10. DOI:10.1155/2011/843450. Available online at: <http://dx.doi.org/10.1155/2011/843450>. Accessed: 28 Jun, 2011.
- Kodesova, R., Kocarek, M., Kodes, V., Drabek, O., Kozak, J. and Hejtmankova, K. 2010. Pesticide adsorption in relation to soil properties and soil type distribution in regional scale. *J. Hazard. Mater.* 186: 540-550.
- Konda, L.N. and Pasztor, Z. 2001. Environmental distribution of acetochlor, atrazine, chlorpyrifos and propisochlor under field conditions. *J. Agric. Food Chem.* 49: 3859-3863.
- Kucharski, M. 2004. Degradation of phenmedipham in soil under laboratory conditions. *Veg. Crops Res. Bull.* 60: 63-70.
- Kucharski, M. 2007. Impact of adjuvants on, phenmedipham, desmedipham and ethofumesate residues in soil and plant. *Pestycydy.* 3-4: 53-59.
- Kucharski, M. and Sadowski, J. 2006. Effect of adjuvants on herbicide residues level in soil and plant. *J. Plant Dis. Prot.* 20: 971-975
- Kucharski, M. and Sadowski, J. 2009a. Degradation of ethofumesate in soil under laboratory conditions. *Pol. J. Environ. Stud.* 18(2): 243-247.
- Kucharski, M. and Sadowski, J. 2009b. Influence of adjuvants on behavior of phenmedipham in plant and soil. *Pol. J. Agron.* 1: 32-36.
- Kucharski, M., Sadowski, J. and Domaradzki, K. 2012. Degradation rate of chloridazon in soil as influenced by adjuvants. *J. Plant Prot. Res.* 52: 114-117.
- 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.
- Mamnoie, E., Izadi-Darbandi, E., Rastgo, M., Baghestani, MA. and Hasanzade, M. 2018. Investigating the effect of adjuvants on nicosulfuron efficacy in controlling redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*). *J. Crop Produc. and Proc.* 8 (1): 45-59.
- Mamnoie, E., Izadi-Darbandi, E., Rastgoo M., Baghestani, M.A. and Hasanzadeh, M. 2017. The Effect of organic and bio fertilizers on maize (*Zea mays*), and HydroMax® adjuvants application on optimizing of nicosulfuron herbicide efficacy. *J. Crop Prod. Proc.* 7(1): 55-71.
- Mehdizadeh, M. 2012. Evaluation of the effect of different organic fertilizers on the residual *metribuzin* herbicide in Soil. MSc thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Department of Agriculture and Plant Breeding. 110 Pp. (In Persian)
- 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.
- Muller, K., Magesan, G.N. and Bolan, N.S. 2003. A critical review of the influence of effluent irrigation on the fate of pesticides in soil. *Agric. Ecosyst. Environ.* 120: 93-116.
- Nosrati, A., Iranbakhsh, A.R. and Sabori, M.S. 2007. Investigation of degradation and shelf life of atrazine and 2,4-D herbicides under field conditions. *J. Pajo. Saz.* 75: 86-96.
- Okafor, L., Isager, G.R. and Shorrocks, V.M. 2006. Biological activity of dininramine in soil. *Weed Res.* 23(4): 199-206.
- Perruci, P., Dumontet, S., Bufo, S.A. and Mazatura, A. 2000. Effects of organic amendment and herbicide treatment on soil microbial biomass. *Bio. Fert. Soils.* 32: 17- 23.
- 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.
- Ramezani, M.K. 2010. A review of herbicide residues in soil and its effects on plants in crop rotations. *Weed Res.* 2 (1): 95-119.
- Rathod, P.H. and Patel, R.B.A. I. 2010. Persistence and management of dinitroaniline herbicide residues in sandy loam soil. *Int. J. Environ. Sustain. Dev.* 9: 53- 57.
- Reddy, K.N. 1993. Effect of acrylic polymer adjuvants on leaching of bromacil, diuron, norfurazon and simazine in soil columns. *Bull. Environ. Contam. Tox.* 50: 449-457.
- RiveraCrus, M.C., Narcia, A.T., Ballona, G.C., Kohler, J., Caravaca, F. and Rold, A. 2008. Poultry manure and banana waste are effective biofertilizer carriers for promoting plant growth and soil sustainability in banana crops. *Soil Bio. Biochem.* 40: 3092- 3095.

- Rodriguezcruz, M.S., Sanchez-Martin, M.J., Andrades, M.S. and Sanchez-Camazano, M. 2007. Retention of pesticides in soil columns modified in situ and ex situ with a cationic surfactant. *Sci. Total Environ.* 378 (1/2): 104–112.
- Rouchaud, J., Gustin, F. and Bulcke, R. 1995. Atrazine soil metabolism in maize fields treated with organic fertilizers. *Weed Res.* 36: 101-112.
- Sabaie, J. 2002. Nicosulfuron: Alcoholysis, chemical hydrolysis, and degradation on various minerals. *J. Agric. Food Chem.* 50: 526–531.
- Santin-Montanya, I., Alonso-Prados, J.L., Villarroya, M. and Garcia-Baudin, J.M. 2006. Bioassay for determining sensitivity to sulfosulfuron on seven plant species. *J. Environ. Sci. Health.* 41 (6): 781-93.
- Shahbazi S., Alizadeh H. and Talebi-Jahromi K. 2015. Study of nicosulfuron+rimsulfuron (Ultima) residues in maize filed by bioassay. *Iranian J. field Crop Sci.* 46(1): 15-24.
- 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(2): 91-110.
- Shrivastava, A. and Gupta, V.B. 2011. Methods for the determination of limit of detection and limit of quantitation of the analytical methods. *Chron. Young Sci.* 2: 21-25.
- Soltani, A. 2014. Agricultural Experiment Analysis Plan: (with SAS programs). Jahad-e- Daneshgahi, Ferdowsi University of Mashhad Press. 430 Pp. (In Persian)
- Strek, H.J. 2005. The science of Dupont's soil residual herbicides in Canada. In: R.C. Van Acker (Ed.) *Soil Residual Herbicides: Science and Management. Topics in Canadian Weed Science, Vol. 3.* Sainte-Anne-de Bellevue, Quebec. Canadian Weed Science Society. P: 31-44. .
- Swarcewicz, M. and Mulinski, Z. 1996. Effect of spray adjuvants Atpol and Olbras on atrazine fate in soil and water. *Proceedings of the 2nd International Weed Control Congress, 25-28 June Copenhagen, Denmark.* 1:343-348.
- Swarcewicz, M., Mulinski, Z. and Zbiec, I. 1998. Influence of spray adjuvants on the behavior of trifluraline in the soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 60: 569–576.
- Tejada, M., Garcia-Martinez, A.M., Gomez, I. and Parrado, J. 2010. Application of MCPA herbicide on soils amended with bio stimulants, short-time effects on soil biological properties. *Chemosphere.* 80: 1088–1094.
- Tiryaki, O. and Temut, D. 2010. The fate of pesticide in the environment. *J. Environ. Sci.* 4(10): 29- 38.
- Wang, H., Wu, L., and Yates, S. 2008. Residues of 14c- metsulfuron methyl in Chinese paddy soil. *Pest Manag. Soil.* 64 (10):1074-1079.
- Wu, Q., Chen, X., Xu, Y. and Han, L. 2010. Dissipation and residues of nicosulfuron in corn and soil under field conditions. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 85(1):79-82.
- Zand, A. and Baghestani, M.A. 2007. Weed resistance to herbicides. Jahad-e- Daneshgahi, Ferdowsi University of Mashhad Press .176 Pp. (In Persian).