مجله پژوهش علف‌های هرز
جلد ۴، شماره ۱، بهار ۱۳۹۱
صفحات ۵۳- ۴۱

مطالعه نیمه‌عمر علف‌کش سولفوسولفورون در نظام‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم با استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا

Study on sulfosulfuron half-life in no-tillage and conventional tillage systems by High Performance Liquid Chromatography

مرضیه یوسفی[۱]، بهنام کامکار[۲]، جاوید قرخلو[۲*]، روح‌اله فائز[۳]، محمدحسن هادی‌زاده[۴]

چکیده:

آگاهی از پایداری علف‌کش‌ها در خاک، به علت اهمیت آن در تعیین پتانسیل علف‌کش‌ها در آلوده‌کردن محیط و آسیب‌رسانی به گیاهان زراعی امری ضروری به نظر می‌رسد. به منظور مطالعه نیمه‌عمر علف‌کش سولفوسولفورون در نظام‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم در گندم، آزمایشی در مرکز تحقیقات هاشم‌آباد گرگان در قالب طرح کرت‌های خرد شده با چهار تکرار و دو عامل انجام شد. عامل اصلی در دو سطح، شامل بی‌خاک‌ورزی با خطی‌کار بالدان و خاک‌ورزی مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار و دوبار دیسک و عامل فرعی در دو سطح کاربرد علف‌کش و شاهد بدون مصرف علف‌کش در نظرگرفته شد. برای تعیین بقایای سولفوسولفورون در خاک، روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) مورد استفاده قرار گرفت. طول موج حداکثر جذب برای سولفوسولفورون، ۲۳٤ نانومتر تعیین شد و زمان بازداری برای این علف‌کش ۲/۷ دقیقه بود. نتایج نشان داد روند کاهشی علف‌کش سولفوسولفورون در طی زمان از معادله کینتیک مرتبه اول پیروی کرد. علف‌کش سولفوسولفورون در تیمارهای بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم به طور نمایی کاهش یافت و سرعت کاهش در تیمار بی‌خاک‌ورزی بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم بود. میزان ماندگاری علف‌کش سولفوسولفورون در تیمار بی‌خاک‌ورزی با نیمه‌عمر ٤/٦٢ روز کمتر از تیمار خاک‌ورزی مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار و دوبار دیسک با نیمه‌عمر ٦/٣ روز بود.

واژه‌های کلیدی: بی‌خاک‌ورزی، پایداری علف‌کش، بقایای علف‌کش

مقدمه

کاربرد نادرست و مداوم علف‌کش‌ها، به ویژه در مورد علف‌کش‌های دارای باقی‌مانده طولانی مانند تریازین‌ها و بعضی از اعضای گروه سولفونیل‌اوره، اثرات منفی بر سلامت بشر، گیاهان و حیوانات دارد (Milosevic & Govedarica, 2002). توان جابجایی، میزان تجزیه و انحلال‌پذیری علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره، تعیین‌کننده پتانسیل آن‌ها در آلوده‌کردن محیط است و به همین جهت تحقیقات گسترده‌ای در مورد پایداری آن‌ها در

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۱/۳۰

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. عضو هیئت علمی گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. عضو هیئت علمی بخش تحقیقات گیاهپزشکی موسسه پنبه کشور
۴. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی
*- نویسنده مسئول Email: gherekhloo@yahoo.com

شرایط آزمایشگاه و مزرعه به انجام رسیده است(Singh & Kulshrestha, 2007). تحمل بالای برخی از گیاهان زراعی (Ramezani, 2010)، خاصیت انتخابی بالا (Sondhia, 2008) و سمیّت کم آن‌ها برای موجودات غیرهدف شامل پستانداران، ماهی‌ها، حشرات و سایر بی‌مهرگان (Moosavi *et al.*, 2005) از دلایل افزایش مقبولیت این گروه از علف‌کش‌هاست. همچنین به علت توان ضد زیستی زیاد علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره، در مقادیر کم به کار می‌روند و به این دلیل مطالعه پایداری علف کش‌های سولفونیل‌اوره کار دشواری است (Singh & Kulshrestha, 2007). توانایی این علف‌کش‌ها برای پایداری در خاک و آب حتی در غلظت‌های کم، می‌تواند سبب آسیب به محصولات زراعی در تناوب گردد (Sondhia *et al.*, 2007). علف‌کش سولفوسولفورون یک علف‌کش انتخابی سیستمیک است (Eizenberg *et al.*, 2003) که برای کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ در غلات به ویژه گندم به دو صورت پیش‌رویشی و پس از سبزشدن بکار می‌رود (Ramesh & Maheswari, 2003). مقدار مصرف آن ۲۵ گرم ماده موثره در هکتار می‌باشد (Saha *et al.*, 2003). علف‌کش سولفوسولفورون بازدارنده آنزیم استولاکتات است که اولین آنزیم در مسیر ساخت امینواسیدهای ضروری والین، لیوسین و ایزولیوسین در کلروپلاست می‌باشد (Maheswari & Ramesh, 2006). شرایط آب و هوایی و ویژگی‌های خاک می‌تواند تعیین‌کننده رفتار کاهشی سولفوسولفورون در خاک بوده و باعث آسیب به گیاهان غیرهدف شود (Alonso-Prados *et al.*, 2002). ساز و کارهای تعیین‌کننده سرنوشت علف‌کش‌ها در خاک از جمله جذب، تجزیه، آبشویی و فراریت از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده میزان پایداری علف‌کش‌ها در خاک هستند. هیدرولیز شیمیایی، تجزیه میکروبی و تجزیه نوری سه راه اصلی امحای علف‌کش در محیط می‌باشند (Saha & Kulshrestha, 2008; Maheswari & Ramesh, 2006).

دما، رطوبت و اسیدیته خاک، مواد آلی، عملیات خاک‌ورزی، شرایط اقلیمی، نوع محصول، میزان کاربرد علف‌کش، روش کاربرد علف‌کش، انواع ریزموجودات‌زنده موجود در خاک و نور از عوامل تاثیرگذار بر هیدرولیز شیمیایی و تجزیه میکروبی می‌باشند (Gallaher & Mueller, 1996؛ Saha & Kulshrestha, 2002؛ Milosevic & Govedarica, 2002؛ Ramesh & Maheswari, 2003). تاثیر نوع محصول به این صورت است که وجود ریشه‌های گیاه، شرایط متفاوتی را در محیط اطراف ریشه فراهم می‌کند و این ریشه موادی مثل کربوهیدرات، آمینواسید و اسیدهای آلی را ترشح می‌کند که منجر به افزایش فعالیت میکروبی و در نتیجه تسریع در تجزیه علف‌کش در این ناحیه می‌گردد (Gallaher & Mueller, 1996; Ke-Bin *et al.*, 2008).

پوسینو وهمکاران (Pusino *et al.*, 2003) در آزمایشی pH را به عنوان عامل تاثیرگذار بر

رونشینی و حذف رونشینی علف‌کش تریاسولفورون در سه خاک بررسی کرده و بیان داشتند که بیشترین میزان رونشینی علف‌کش در خاک‌های با pH پایین و بیشترین مقدار ماده آلی صورت می‌گیرد. نظام‌های بدون شخم سبب افزایش ماده آلی خاک، کاهش pH، افزایش بیوماس و فعالیت ریزموجودات‌زنده، بالا بردن میزان رطوبت خاک و کاهش درجه حرارت در مقایسه با شخم معمولی می‌شوند که نتیجه نهایی آن کاهش پایداری علف‌کش‌ها در خاک است (Aislabie & Lioyd-Jones, 1995) به نقل از (Ramezani, 2010)). بنابراین بررسی کمی و کیفی چگونگی تأثیر عوامل محیطی و تغییرات آن‌ها بر سرنوشت علف‌کش‌ها در خاک به منظور پیش‌بینی اثرات این سموم در کنترل علف‌های‌هرز و خسارت احتمالی به محصولات بعدی و نیز میزان ماندگاری آن‌ها در خاک بسیار مهم است. روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا برای تعیین بقایای سولفوسولفورون در نمونه‌های خاک و گیاه توسعه یافته است (Saha & Kulshrestha, 2002). در این مطالعات برای تعیین پسماند علف‌کش‌های خانواده سولفونیل‌اوره در مواد زمینه‌ای مختلف (خاک، آب، گیاه و آبزیان) کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا[1] (HPLC) با استفاده از آشکارساز[2] ماوراءبنفش از نوع آرایه فوتونی (PDA)[3] و فاز متحرک[4] با خاصیت اسیدی ضعیف با نسبت حجمی (۸۰: ۲۰: ۱٪) با سرعت جریان[5] یک میلی‌لیتر در دقیقه به کار گرفته شد (Maheswari & Ramesh, 2006؛ Saha & Kulshrestha, 2008؛ Hadizadeh, 2008). هدف از انجام این آزمایش، مطالعه نیمه‌عمر علف‌کش سولفوسولفورون در نظام‌های بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم با استفاده از روش کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا (HPLC) بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی هاشم‌آباد گرگان با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸۵ دقیقه شمالی در سال زراعی ۸۹–۱۳۸۸ در قالب طرح کرت‌های خرد شده با دو عامل در چهار تکرار اجرا شد. عامل اصلی، در دو سطح شامل بی‌خاک‌ورزی با ردیف کار بالدان و خاک‌ورزی مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار و دوبار دیسک و عامل فرعی در دو سطح کاربرد علف‌کش و شاهد بدون مصرف علف‌کش در کرت‌هایی به ابعاد ۲۵ متر طول در ۱۲ متر عرض اعمال شد. کشت گندم رقم دریا به صورت دیم در نهم دی‌ماه ۱۳۸۸، بعد از اعمال نظام‌های خاک‌ورزی صورت گرفت. خاک مورد آزمایش، لومی‌رسی‌سیلتی (۳۵٪ رس، ۸۲٪ سیلت و ۱۸٪ شن) بود. کود اوره در دو نوبت به صورت سرک مصرف شد. مصرف علف‌کش سولفوسولفورون (آپیروس WG ۷۵٪) در دهم فروردین ۸۹ (مرحله پنجه‌زنی) با استفاده از سم‌پاش ماتابی[6] با نازل خطی‌پاش یکنواخت و فشار ثابت ۲/۵ بار در شرایط مناسب سم‌پاشی، صبح هنگام انجام شد.

1. High Performance Liquid Chromatography
2. Detector
3. Photodiode array detector
4. Mobile phase
5. Flow
6. Matabi

نمونه‌برداری از خاک، از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری در فواصل زمانی ۵ ساعت و ۷، ۱۵، ۳۰، ۶۵ و ۸۰ روز پس از سم‌پاشی از ۴ نقطه در هر کرت با کمک اوگر دستی انجام گرفت. نمونه‌های مربوط به هر کرت پس از انتقال به آزمایشگاه به خوبی مخلوط گردید و به مدت ۲۴ ساعت در سایه خشک شد. سپس از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شده و در ویال‌های شیشه‌ای در دمای ۲۶- درجه سانتی‌گراد تا زمان عصاره‌گیری نگهداری گردید. برای تعیین میزان علف‌کش موجود در خاک، تهیه محلول‌های استاندارد، عصاره‌گیری، جداسازی و تمیز کردن طبق مراحل زیر انجام شد (Srivastava *et al*., 2006).

۱- تهیه محلول‌های استاندارد

ده میلی‌گرم سولفوسولفورون (با خلوص ۹۷ درصد) در یک بالن ژوژه ۱۰ میلی‌لیتری با استفاده از استونیتریل[1] به حجم رسانده شد و محلول پایه A با غلظت ۱۰۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر تهیه گردید. سپس یک میلی‌لیتر از محلول A در بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری با استونیتریل به حجم رسانده شد و محلول پایه B با غلظت ۲۰ میکروگرم در میلی‌لیتر بدست آمد. سپس با رقیق کردن مناسب محلول B با استونیتریل، غلظت‌های استاندارد از سولفوسولفورون (۱۰، ۵، ۱، ۰/۵، ۰/۱، ۰/۰۵ و ۰/۰۱ میکروگرم در میلی‌لیتر در استونیتریل) تهیه شدند. از هر محلول سه بار (هر بار ۲۰ میکرولیتر) به دستگاه HPLC تزریق شد و منحنی کالیبراسیون با استفاده از سطح زیر پیک منحنی‌های مربوط به غلظت‌های استاندارد ترسیم گردید (شکل ۱).

۲- تعیین طول موج حداکثر جذب سولفو سولفورون

غلظت استاندارد سولفوسولفورون (۱۰ میکروگرم در میلی‌لیتر) به دستگاه اسپکتروفتومتر تزریق شد که دستگاه طول موج حداکثر را ۲۳۴ نانومتر نشان داد.

۳- مرحله عصاره‌گیری

پنجاه گرم نمونه خاک به ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری منتقل و پس از افزودن مخلوط استونیتریل[2] و کربنات‌آمونیوم[3] یک مولار با نسبت حجمی ۹ به ۱ به آن به مدت ۳۰ دقیقه روی شیکر تکان داده شد. بعد از انتقال از شیکر، لایه آلی بالایی، از کاغذ واتمن شماره یک با استفاده از قیف بوخنر عبور داده و در یک ویال شیشه‌ای جمع‌آوری شد. این مرحله دوباره تکرار شد. عصاره جداشده از این مرحله به عصاره‌ی مرحله قبل اضافه گردید. حجم عصاره با استفاده از دستگاه تبخیر چرخشی[4] در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد به ۲۰ میلی‌لیتر کاهش یافت.

٤- مرحله جداسازی

پنجاه میلی‌لیتر محلول کلریدسدیم[5] یک مولار، به عصاره کاهش‌یافته از مرحله قبل اضافه و به قیف جداساز ۲۵۰ میلی‌لیتری منتقل شد. سپس ۵۰ میلی‌لیتر دی‌کلرومتان[6] به آن افزوده و قیف به شدت تکان داده شد و فشار بخار ایجاد شده، آزاد شد. سپس قیف به شکل ثابت روی پایه قرار داده شد تا فاز آلی از آبی جدا شود. سپس فاز آلی در ویال شیشه‌ای جمع‌آوری شد. دوباره ۵۰ میلی‌لیتر دی‌کلرومتان به باقیمانده محلول موجود در قیف جداساز افزوده و مرحله فوق تکرار شد. فاز آلی

1 - Acetonitrile

2. CH_3CN
3. $CO_3(NH_4)_2$
4. Rotary evaporator
5. NaCl
6. CH_2Cl_2

جداشده از این مرحله به مقدار قبلی اضافه شد.

۵- مرحله تمیزکردن

ازسدیم بدون آب[1] برای خشک کردن عصاره جمع‌آوری شده استفاده شد. سپس حجم آن با استفاده از دستگاه تبخیر چرخشی در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد تا نزدیک خشک‌شدن کاهش یافت. دو میلی‌لیتر استونیتریل به بالن تبخیر افزوده شد و از فیلتر ۰/۴۵ میکرون (Millipor) عبور داده و به دستگاه HPLC تزریق شد.

٦- شرایط دستگاه HPLC

از دستگاه مدل Merk-Hitachi به همراه پمپ L7100 مجهز به آشکارساز آرایه فوتونی (PDA)، سیستم تزریق دستی و رابط نرم‌افزاری EZchrom استفاده شد. ستون مورد استفاده RP–C18 ساخت شرکت Hitachi با طول ۲۵۰ میلی‌متر و قطر داخلی ۴ میلی‌متر بود. فاز متحرک مورد استفاده شامل آب : استونیتریل : ارتوفسفریک‌اسید[2] با نسبت حجمی ۲۰ : ۸۰ : ۰/۱ با نسبت ثابت حلال[3] و سرعت جریان یک میلی‌لیتردر دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد (Saha and Kulshrestha, 2008) و حجم تزریق ۲۰ میکرولیتر بود. زمان بازداری برای سولفوسولفورون در این شرایط ۲/۷ دقیقه تعیین گردید. ماده خالص سولفوسولفورون (۹۷٪) به عنوان استاندارد مرجع برای تجزیه با دستگاه HPLC از شرکت دکتر ارنستوفر[4] آلمان تهیه شد.

استونیتریل و دی‌کلرومتان با خلوص کروماتوگرافی و سایر مواد مورد استفاده در آزمایش از شرکت مرک[5] تهیه شد.

۷- بازیابی[6]

برای تعیین درصد بازیابی سم از خاک، غلظت‌های ۰/۲۵ و ۰/۵ میکروگرم در گرم خاک (۲/۵ و ۵ میلی‌لیتر از غلظت استاندارد ۵ میکروگرم در میلی‌لیتر) به ۵۰ گرم خاک شاهد (بدون تیمار سم‌پاشی) در ۳ تکرار اضافه و کاملا مخلوط شد و به روش ذکرشده عصاره‌گیری گردید. هم‌چنین از ۵۰ گرم نمونه خاک شاهد بدون افزودن غلظت استاندارد عصاره‌گیری شد و نمونه‌ها به دستگاه HPLC تزریق شدند.

۸- حد تشخیص دستگاه و روش

ده بار غلظت استاندارد ۱ میکروگرم در میلی‌لیتر سولفوسولفورون به دستگاه HPLC تزریق شد و حد تشخیص دستگاه با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد (Singh and Kulshrestha, 2007؛ Sondhia, 2008).

معادله (۱): $IDL = (SD \times ST \times C) / A$

که در این معادله، IDL[7]، حد تشخیص دستگاه بر حسب میکروگرم در میلی‌لیتر، SD، انحراف استاندارد، St، ضریب t-Student (معادل ۲/۲۶۲)، C، غلظت استاندارد سولفوسولفورون بر حسب میکروگرم در میلی‌لیتر و A، میانگین سطح زیر پیک سولفوسولفورون در غلظت مربوطه است.

برای محاسبه حد تشخیص روش (EMDL)[8] بر حسب میکروگرم در گرم از معادله (۲) استفاده شد (Singh and Kulshrestha, 2007).

معادله (۲):

$$EMDL = (IDL \times 100 \times V) / (M \times \%\mathrm{Re}c)$$

1. Na_2SO_4
2. H_3PO_4
3. Isocratic
4. Dr. Ernestofer
5. Merk
6. Recovery
7. Instrument Detection Limit
8. Estimated Method Detection Limit

که در این معادله، V، حجم نهایی محلول عصاره‌گیری شده برای آنالیز (در اینجا ۲ میلی‌لیتر)، M، معادل وزن خاک برحسب گرم و Rec%، متوسط درصد بازیابی سولفوسولفورون است.

۹- کاهش سولفوسولفورون

برای توصیف کاستی سولفوسولفورون در خاک از معادله کینتیک درجه اول[1] (معادله ۳) و برای محاسبه نیمه‌عمر از معادله ۴ استفاده شد (Ramesh and Maheswari, 2003؛ Maheswari and Ramesh, 2006؛ Saha and Kulshrestha, 2008):

معادله (۳): $C = C_0 \times e^{-kt}$

معادله (۴): $t_{1/2} = 0.639 / k$

که در این معادله، C_0 و C به ترتیب غلظت اولیه و نهایی علف‌کش در خاک، k، ضریب ثابت سرعت بر واحد زمان و t، زمان (روز) است. برای محاسبه مدت زمان لازم برای کاستی نود درصد مقدار اولیه علف‌کش به جای لگاریتم ۰/۵، لگاریتم ۰/۱ (معادل ۲/۳۰۲-) قرار داده شد.

به منظور اندازه‌گیری ماده آلی خاک از روش (Nelson, 1982) استفاده شد.

نتایج و بحث

جذب طیف ماورای بنفش (UV) برای سولفوسولفورون محلول در استونیتریل در طول موج‌های مختلف از ۲۲۰ تا ۲۳۴ نانومتر بر روی آشکارساز فوتونی (PDA) در دستگاه HPLC نشانگر سه طول موج مناسب (۲۲۰، ۲۳۲ و ۲۳۴) بود که طول موج حداکثر (λ_{max}) برای تشخیص سولفوسولفورون ۲۳۴ نانومتر انتخاب شد. حد تشخیص دستگاه طبق معادله (۱) برابر ۰/۲۷ میکروگرم در میلی‌لیتر بدست آمد. حد تشخیص روش مورد استفاده ۰/۰۱۵ میکروگرم در گرم بود. متوسط درصد بازیابی در مطالعه فعلی ۷۳/۱ درصد محاسبه شد.

پایداری علف‌کش در خاک

نیمه‌عمر علف‌کش سولفوسولفورون در خاک بر حسب پارامتر k در نظام‌های بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم محاسبه شد. نتایج نشان داد که پایداری علف‌کش در تیمار بی‌خاک‌ورزی با نیمه‌عمر ۴/۶۲ روز، کمتر از تیمار خاک‌ورزی مرسوم با نیمه‌عمر ۶/۳ روز بود (جدول ۱).

غلظت ابتدایی علف‌کش سولفوسولفورون در خاک در تیمارهای خاک‌ورزی در مرحله ۵ ساعت پس از سم‌پاشی، به ترتیب با مقادیر ۰/۱۵ و ۰/۱۴ میکروگرم در میلی‌لیتر در هر گرم خاک به بی‌خاک‌ورزی با ردیف کار بالدان و خاک‌ورزی مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار و دوبار دیسک متعلق بودند و ۸۰ روز پس از سم‌پاشی (پس از برداشت گندم) میزان بقایای علف‌کش به ۰/۰۲ میکروگرم در میلی‌لیتر در این تیمارها رسید (شکل ۲).

شیب منحنی کاستی علف‌کش در تیمارهای بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم نشان داد که در نمونه‌برداری‌های اولیه، علف‌کش با سرعت بیشتری کاهش یافت و با گذشت زمان، کاهش تدریجی بقایای علف‌کش در خاک مشاهده شد. به عبارتی هر چه از غلظت اولیه علف‌کش کاسته شد، مدت زمان بیشتری برای تجزیه باقیمانده علف‌کش مورد نیاز بود. مقایسه شیب منحنی‌ها در نمودار کاهش علف‌کش نشان داد سرعت کاستی

[1]. First-order kinetics

علف‌کش در تیمار بی‌خاک‌ورزی بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم بود (شکل ۲).

ماده آلی خاک به عنوان یک عامل تاثیرگذار بر سرعت تجزیه علف‌کش‌ها مطرح است. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نظام بی‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی مرسوم بر میزان ماده آلی خاک معنی‌دار بوده است (جدول ۲).

میانگین میزان ماده آلی خاک در نظام بی‌خاک‌ورزی بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم بود (بجز در مرحله ۵ ساعت). بیشترین و کمترین میزان ماده آلی به ترتیب مربوط به مرحله ۵ ساعت و ۸۰ روز پس از سم‌پاشی (بعد از برداشت گندم) بود (جدول ۳). اختلاف در میزان ماده آلی خاک منجر به تفاوت در سرعت تجزیه علف‌کش سولفوسولفورون بین این تیمارها شده است. در تیمار بی‌خاک‌ورزی که میزان ماده آلی خاک بالا بود سرعت تجزیه علف‌کش سولفوسولفورون افزایش یافته و ماندگاری آن در خاک کمتر از خاک‌ورزی مرسوم است.

در تیمار بی‌خاک‌ورزی، بدون این‌که هیچ‌گونه خاک‌ورزی مقدماتی انجام گرفته باشد یک ردیف‌کار عمل کشت را انجام داد تا ضمن عبور از میان بقایای گیاهی، خاک را قطع کند و شیار باریکی باز نماید، در نتیجه خاک دست نخورده و تقریبا تمام بقایا در سطح خاک باقی ماند در حالی‌که در خاک‌ورزی مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری برگردانده و بقایای گیاهی کاملا در زیر خاک دفن شد. این امر می‌تواند دلیلی بر افزایش ماده آلی خاک در نظام بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باشد.

ماده آلی خاک نه تنها بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، زیستی و حاصلخیزی خاک موثر است، بلکه به عنوان یک عامل مهم بر روند کاهش علف‌کش از نظر تجزیه زیستی تاثیر دارد (Hadizadeh, 2008). اثر مواد آلی بر واکنش‌های زیستی از دو جهت است: یکی این که، ماده آلی به عنوان یک منبع انرژی است که افزایش فعالیت ریزموجودات‌زنده را سبب شده و با افزایش تعداد و فعالیت آن‌ها فرآیندهای زیستی تجزیه علف‌کش‌ها را سرعت می‌بخشد و از طرف دیگر، ماده آلی به واسطه جذب علف‌کش‌ها تجزیه آنزیمی آن‌ها را به تاخیر می‌اندازد (Ramezani, 2010). سوندهیا (Sondhia, 2009) و مهسواری و رامش (Maheswari and Ramesh, 2006) گزارش کردند تجزیه میکروبی و هیدرولیز شیمیایی از راه‌های اصلی تجزیه علف‌کش‌های خانواده سولفونیل‌اوره در خاک به شمار می‌روند که تحت تاثیر عوامل دیگری مثل pH دما، رطوبت و ماده آلی خاک قرار می‌گیرند. یوسفی (Yousefi, 2011) در تحقیقی دیگر بیان داشت که میزان تنفس میکروبی خاک به عنوان شاخصی از فعالیت میکروبی خاک در نظام بی‌خاک‌ورزی بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم بود که این امر می‌تواند بیانگر فعالیت میکروبی بیشتر و تجزیه سریع‌تر علف‌کش و در نتیجه کاهش پایداری آن در تیمار بی‌خاک‌ورزی باشد. هادی‌زاده (Hadizadeh, 2008) در بررسی تاثیر ماده آلی بر پایداری علف‌کش سولفوسولفورون بیان داشت میزان ماده آلی خاک با تنفس میکروبی خاک رابطه نزدیکی دارد و افزایش تنفس خاک

می‌تواند حاکی از تسریع تجزیه میکروبی باشد. در تحقیق (Hadizadeh, 2008) به جز ۱۵ روز پس از سم‌پاشی در بقیه زمان‌های نمونه‌گیری، تنفس خاک بین دو تیمار بدون کود و حاوی کود حیوانی تفاوت آماری نداشت، ولی به طور کلی در خاک دارای کود دامی تنفس میکروبی بیشتر بود. محاسبه نیمه‌عمر سولفوسولفورون نشان داد که با افزایش کود حیوانی نیمه‌عمر علف‌کش از ۸/۳۳ روز به ۳/۱۴ روز در مقدار مصرف رایج علف‌کش سولفوسولفورون و از ۵ روز به ۳/۱۳ روز در مقدار مصرف بیشتر از رایج علف‌کش، کاهش پیدا کرد. به عبارت دیگر افزودن کود حیوانی منجر به افزایش فعالیت ریزموجودات‌زنده شده و با افزایش تعداد و فعالیت آن‌ها، فرآیندهای زیستی مربوط به تجزیه علف‌کش‌ها تسریع می‌شود. سوندهیا (Sondhia, 2008) نیز گزارش کرد فعالیت میکروبی با افزایش سرعت تجزیه علف‌کش منجر به کاهش غلظت آن در خاک می‌شود؛ به علاوه ماده آلی و رس نقش مهمی در تعیین سرعت تجزیه علف‌کش دارند زیرا آن‌ها تعیین‌کننده افزایش بیوماس میکروبی هستند.

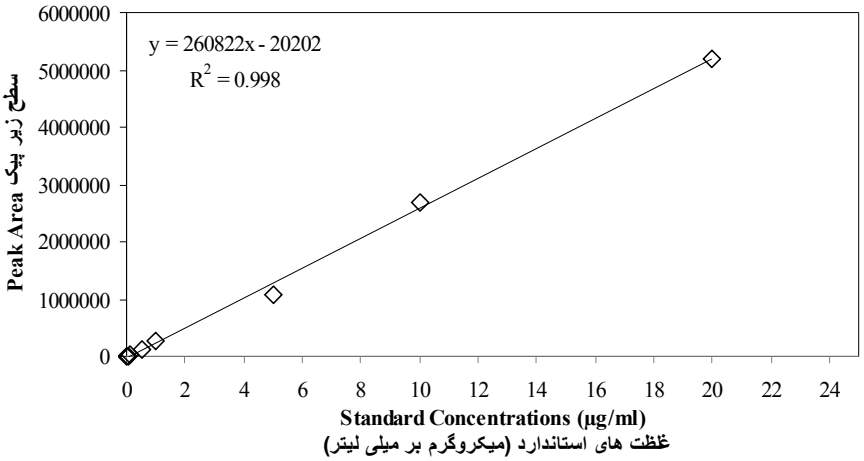
دلیل کاهش سریع‌تر علف‌کش سولفوسولفورون در مراحل اولیه می‌تواند رشد جمعیت میکروبی خاک در اثر افزودن علف‌کش باشد. فلاح و همکاران (Fallah *et al.*, 2006) در تحقیقات خود در مورد تجزیه میکروبی علف‌کش‌ها بیان کردند مواد اضافه شده به خاک چه به صورت بقایای گیاهی و چه به صورت مواد شیمیایی مثل علف‌کش به طور ناگهانی، جمعیت باکتری‌ها را در یک دوره افزایش می‌دهند، بنابراین جمعیت باکتری‌ها زیاد می‌شود تا جایی که بعد از اتمام این مواد، دوباره کاهش یافته و به حالت پایداری می‌رسند.

نظام‌های خاک‌ورزی به علت تاثیری که بر توزیع ماده آلی خاک دارند بر تجزیه میکروبی اثر می‌گذارند. هادی‌زاده (Hadizadeh, 2008) بیان داشت تجزیه میکروبی در نظام‌های خاک‌ورزی حفاظتی از اهمیت زیادی برخوردار است که به دلیل وابستگی شدید بین مواد آلی انباشته در سطح خاک و جمعیت یا فعالیت ریز موجودات زنده است. میلوسویچ و گوِداریکا (Milosevic and Govedarica, 2002) در بررسی اثرات علف‌کش‌ها بر ویژگی‌های میکروبی خاک بیان داشتند در خاک‌ورزی حفاظتی به علت حفظ بقایای گیاهی در سطح خاک و در نتیجه افزایش ماده آلی خاک و ریزموجودات‌زنده خاک‌زی پیش‌بینی می‌شود که نیمه‌عمر علف‌کش در نظام خاک‌ورزی حفاظتی کمتر از خاک‌ورزی مرسوم باشد؛ به عبارتی سرعت کاهش علف‌کش در آن بیشتر از نظام خاک‌ورزی مرسوم خواهد بود. در تحقیق بالوتا و همکاران (Balota *et al.*, 2004) آمده است که تخریب خاک در شخم مرسوم باعث تغییر محسوس در زیستگاه خاک شده و جمعیت میکروبی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

سوندهیا و سینگهای (Sondhia and Singhai, 2008)، غنی بودن لایه‌ی سطحی خاک (عمق ۱۵-۰ سانتی‌متر) از ماده آلی را که باعث افزایش تجزیه میکروبی سولفوسولفورون در مقایسه با لایه‌های زیرین خاک (عمق ۳۰-۱۵ سانتی‌متر) می‌شود دلیل کاهش سریع‌تر سولفوسولفورون در خاک سطحی دانستند. مهسواری و رامش (Maheswari and Ramesh, 2006) در

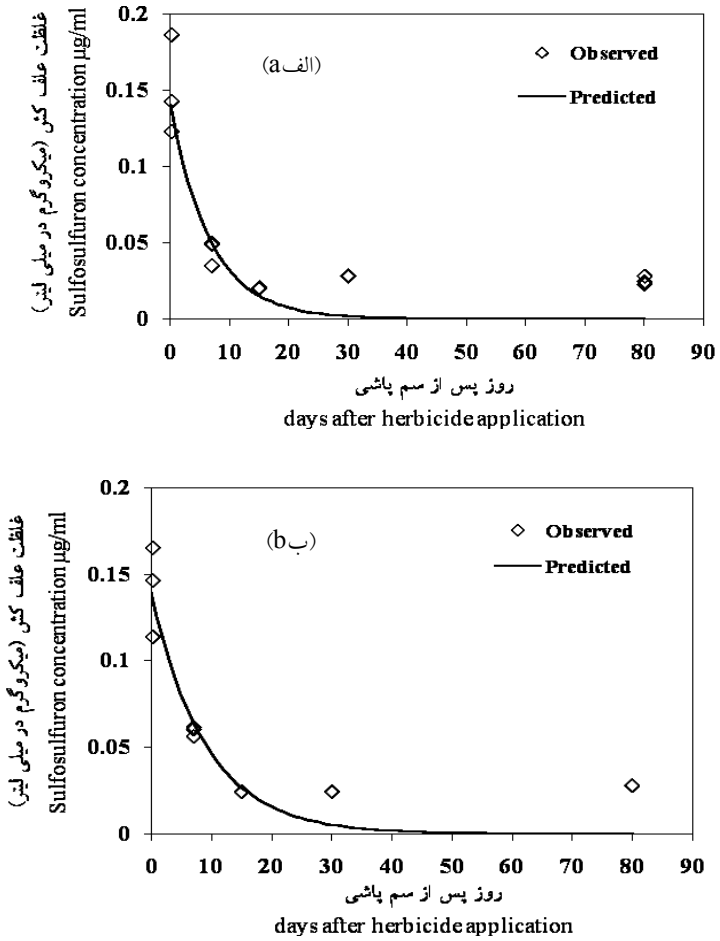
مطالعه رونشینی و کاهش علف‌کش سولفوسولفورون گزارش کردند رونشینی علف‌کش سولفوسولفورون همبستگی مثبتی با کربن آلی خاک دارد. بیشترین جذب سولفوسولفورون در خاک‌های با pH کم و ظرفیت ماده آلی بالا ثبت شد.

نظام‌های خاک‌ورزی به عنوان یک فاکتور موثر بر میزان مواد آلی، درجه حرارت، رطوبت و فعالیت میکروبی خاک، می‌توانند از عوامل تعیین‌کننده‌ی ماندگاری علف‌کش‌ها در خاک محسوب شوند. بنابراین به کارگیری نظام‌های کشت مناسب می‌تواند از جمله تدابیر مدیریتی باشد که تا حد زیادی باعث کاهش سریع‌تر علف‌کش‌ها و تقلیل اثرات سوء آن شود. بر این اساس به نظر می‌رسد که نظام بی‌خاک‌ورزی به علت وجود ماده آلی بیشتر و در نتیجه پایداری کمتر علف‌کش سولفوسولفورون در آن‌ها، می‌توانند انتخاب مناسبی در جهت اولویت‌دهی نظام‌های کشت و توزیع ادوات تولید در گندم باشند و برای تامین اهداف کشاورزی پایدار که حفظ سلامت کشت‌بوم در عین دستیابی به تولید مطلوب است بکار روند. با توجه به اثرات سوئی که مواد شیمیایی بر محصولات زراعی و محیط زیست و هزینه‌هایی که مصرف علف‌کش در پی دارد، شناخت عوامل موثر بر سرنوشت بقایای این علف‌کش‌ها در خاک از جمله بررسی ماندگاری علف‌کش در نظام‌های خاک‌ورزی امری ضروری و نیازمند انجام آزمایش‌ها در سال‌های متمادی است. بهتر است برای تکمیل نتایج تحقیقاتی از این دست تنفس میکروبی خاک به عنوان شاخصی برای فعالیت میکروبی خاک و تاثیرگذاری بر تجزیه میکروبی علف‌کش سولفوسولفورون اندازه‌گیری شود. بنابر بررسی‌های سایر محققان، تغییرات pH خاک در اثر تجمع مواد آلی ممکن است در روند کاهش علف‌کش سولفوسولفورون در خاک ایفای نقش کند (Pusino *et al.*, 2003; Maheswari and Ramesh, 2006) هر چند در مطالعات دیگر تغییرات اسیدیته لزوماً با میزان مواد آلی همبستگی نداشت (Hadizadeh, 2008).



شکل ۱- منحنی کالیبراسیون غلظت‌های استاندارد علف‌کش سولفوسولفورون.

Figure 1. Calibration curve of Sulfosulfuron standard concentrations.



شکل۲- نمودار کاستی غلظت علف‌کش سولفوسولفورون در خاک در نظام‌های بی‌خاک‌ورزی با ردیف کار بالدان (الف) و خاک‌ورزی مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار و دوبار دیسک (ب).

Fig 2. Dissipation curve of sulfosulfuron in soil in two tillage systems (a) no-tillage by Baldan grain drill and (b) conventional tillage by moldboard plow and twice disk.

جدول ۱- پارامترهای برآورد شده از معادله کینتیک مرتبه اول (C=ae-kt)، نیمه‌عمر و زمان نود درصد کاستی علف‌کش سولفوسولفورون در خاک (بر حسب روز) در دو تیمار بی‌خاک‌ورزی با ردیف‌کار بالدان و خاک‌ورزی مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار و دوبار دیسک.

Table 1. Estimated parameters by first-order kinetics equation (C=ae-kt), half-life and 90% reduction of sulfusolfuron in soil in two treatments, no-tillage by Baldan grain drill and conventional tillage by moldboard plow and twice disk

زمان نود درصد کاستی 90% reduction (روز day)	نیمه‌عمر (روز day) half-life	P-value	R^2	k±SE	a±SE	نظام خاک‌ورزی Cultivation Method
15.34	4.62	<0.0001	0.82	0.15±0.03	0.14±0.01	بی‌خاک‌ورزی no-tillage
20.92	6.3	<0.0001	0.84	0.11±0.02	0.14±0.01	خاک‌ورزی مرسوم conventional

± خطای استاندارد Standard Error

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) میزان ماده آلی خاک در دو تیمار بی‌خاک‌ورزی با ردیف کـار بالـدان و خـاک‌ورزی مرسوم با گاوآهن برگردان‌دار و دوبار دیسک در ۵ مرحله نمونه‌برداری (۵ ساعت و ۷، ۱۵، ۶۵ و ۸۰ روز پس از سم‌پاشی).

Table 2. Analysis of variance (mean of squares) organic matter (%) in no-tillage by Baldan grain drill and conventional tillage by moldboard plow and twice disk in five stages (5 hours and 7, 15, 65 and 80 days after herbicide application)

روز پس از سم‌پاشی Days after herbicide application						
۸۰ روز 80 day	۶۵ روز 65 day	۳۰روز 30 day	۷ روز 7 day	۵ ساعت 5 hours	درجه آزادی Degree of freedom	منابع تغییر Source of Variation
0.03^{ns}	0.003^{ns}	0.12^{ns}	0.07^{ns}	0.18^{ns}	3	بلوک Block
0.16^{ns}	0.22^{**}	0.9^{*}	1.66^{**}	0.6^{ns}	1	نظام‌خاک‌ورزی Cultivation Method
0.09	0.007	0.1	0.02	0.1	3	خطا Error

جدول ۳- مقایسه میانگین درصد ماده آلی خاک در دو تیمار بی‌خاک‌ورزی با ردیف کار بالدان و خاک‌ورزی مرسوم بـا گـاوآهن برگردان‌دار و دوبار دیسک در ۵ مرحله نمونه‌برداری (۵ ساعت و ۷، ۱۵، ۶۵ و ۸۰ روز پس از سم‌پاشی).

Table 3. Comparison of means of organic matter (%) in no-tillage by Baldan grain drill and conventional tillage by moldboard plow and twice disk in five stages (5 hours and 7, 15, 65 and 80 days after herbicide application).

روز پس از سم‌پاشی days after herbicide application					
۸۰ روز 80 day	۶۵ روز 65 day	۳۰روز 30 day	۷ روز 7 day	۵ ساعت 5 hours	نظام‌های‌خاک‌ورزی Cultivation Method
2.52±0.11	2.60±0.05	3.36±0.22	3.72±0.05	3.33±0.23	بی‌خاک‌ورزی no-tillage
2.23±0.14	2.26±0.02	2.69±0.09	2.81±0.15	3.88±0.13	خاک‌ورزی مرسوم conventional

± خطای استاندارد Standard Error

فهرست منابع Reference

Aislabie, J. and G. Lioyd-Jones. 1995. Bacterial degradation of pesticides. Australian Journal of Soil Research. 33:925-942.

Alonso-Prados, J.L., E. Hernandes-Sevillano, S. Lianos, M. Villarroya and J.M.Garcia-Baudin. 2002. Effects of sulfosulfuron soil residues on barley (*Hordeum vulgare*), sunflower (*Helianthus annuus*) and common vetch (*vicia sativa*). Crop Prot. 21:1061–1066.

Balota, E.L., A. ColozziFilho, D.S. Andrade and R.P. Dick. 2004. Long-term tillage and crop rotation effects on microbial biomass and C and N mineralization in a Brazilian oxisol. Soil and Tillage Research. 77:137–145.

Eizenberg, H., Y. Goldwasser, G. Achdary and J. Hershenhorn. 2003. The potential of sulfosulfuron to control troublesome weeds in tomato. Weed Technology. 17:133–137.

Fallah, A. R., H. Besharati and H. Khosravi. 2006. Soil microbiological. Mishra, R.R. (Author). Aezh pablications. 179 P.

Gallaher, K and Th. Mueller. 1996. Effect of Crop Presence on Persistence of Atrazine, Metribuzin, and Clomazone in Surface Soil. Weed Science. 44(3):698-703.

Hadizadeh, M.H. 2008. The effects of organic amendments and sulfosulfuron application rates on its persistence in soil. Ph.D thesis, Ferdowsi University of Mashhad. 118 P.

Ke-Bin, L.I., C.H. Jing-Tao, W. Xiao-Fang, ZH. Ying and L. Wei-Ping. 2008. Degradation of herbicides atrazine and bentazone applied alone and in combination in soils. Pedosphere. 18(2): 265-272.

Maheswari, S.T and A. Ramesh. 2006. Adsorption and degradation of sulfosulfuron in soils. Environmental Monitoring and Assessment. 127(1-3):97-103.

Milosevic, N.A and M.M. Govedarica. 2002. Effect of herbicides on microbiological properties of soil. Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia. 102:5-21.

Moosavi, S.K., E. Zand and H. Saremi. 2005. Fisiologhical function and herbicides application. Zanjan university pablications. 286 P.

Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Methods of soil analysis. Part2. Page, A.L. (Ed). American Society of Agronomy Madison, Wisconsin, USA. 196-204.

Oliveira, R.S., W.C. Koskinen and F.A. Ferreira. 2001. Sorption and leaching potential of herbicides on Brazilian soils. Weed Research. 41:97-110.

Pusino, A., M.G. Fiori, I. Braschi and C. Gessa. 2003. Adsorption and desorption of triasulfuron by soil. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51(18):5350–5354.

Ramesh, A and A.R. Maheswari. 2003. Dissipation of sulfosulfuron in soil and wheat plant under predominant cropping conditions and in a simulated model ecosystem. Journal of Agriculture and Food Chemitry. 51:3396-3400.

Ramezani, M.K. 2010. Soil persistence of herbicides and their carryover effects on rotational crops. 3th Iranian Weed Science Congress. Babolsar. 12-30.

Saha, S and G. Kulshrestha. 2002. Degradation of sulfosulfuron, a sulfonylurea herbicide, as Influenced by abiotic factors. Journal of Agriculture and Food Chemitry. 50:4572-4575.

Saha, S and G. Kulshrestha. 2008. Hydrolysis kinetics of the sulfonylurea herbicide sulfosulfuron. Bulletin Environmental Contaminatin and Toxicology. 88(12):891-898.

Saha, S., S.B. Singh and G. Kulshrestha. 2003. High Performance Liquid Chromatographic method for residue determination of sulfosulfuron. Journal of Environmental Science and Health. 38(3):337-347.

Singh, S.B and G. Kulshrestha. 2007. Determination of sulfosulfuron residues in soil under wheat crop by a novel and cost-effective method and evaluation of its carryover effect. Journal of Environmental Science and Health. 42: 27–31.

Sondhia, S., B. Singhai and V.P. Singh. 2007. Degradation of sulfosulfuron in sandy clay loam soil and detection of its residues in wheat grains and straw. Geobios. 34:74–76.

Sondhia, S and B. Singhai. 2008. Persistence of sulfosulfuron under wheat cropping system. Bulletin Environmental Contaminatin and Toxicology. 80(5):423-427.

Sondhia, S. 2008. Determination of imazosulfuron persistence in rice crop and soil. Environmental Monitoring and Assessment. 137: 205-211.

Sondhia, S. 2009. Persistence of metsulfuron-methyl in paddy field and detection of its residues in crop produce. Bulletin Environmental Contaminatin and Toxicology. 83:799–802.

Srivastava, A., V. Agarwal, P.C. Srivastava, S.K. Guru and G. Singh. 2006. Leaching of sulfosulfuron from two texturally different soils under saturated moisture regime. Electronic Journal of Environmental Agricultural Food Chemistry. 5:1553-1559.

Yousefi, M. 2011. Study on sulfosulfuron persistence under different cultivation systems in wheat (*Triticum aestivum*). M.Sc thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource. 76 P.