نشریهٔ پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۴ شمارهٔ۲، صفحهٔ ۱۳۲-۱۲۱، نیمهٔ دوم ۱۳۹۲

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 4, No. 2, 2013, p. 121-132

بررسی اثرات بقایای شبیه‌سازی‌شدهٔ علف‌کش‌های فورام‌سولفورون، ریم‌سولفورون و نیکوسولفورون در خاک بر رشد حبوبات در شرایط گلخانه

ابراهیم ایزدی دربندی[1*] و مسعود آزاد[2]

۱ و ۲- به‌ترتیب، دانشیار و دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۳/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۰۵

چکیده

به‌منظور بررسی حساسیت گیاهان زراعی نخود، عدس، لوبیا، گندم، جو و کلزا به بقایای علف‌کش‌های فورام‌سولفورون، ریم‌سولفورون و نیکوسولفورون در خاک، آزمایشی گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. عوامل مورد بررسی در این آزمایش شامل علف‌کش‌های مختلف (ریم‌سولفورون، فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون)، غلظت‌های شبیه‌سازی‌شده علف‌کش‌ها در خاک (صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۹ و ۱/۳میکروگرم در کیلوگرم خاک برای ریم‌سولفورون، صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰میکروگرم در کیلوگرم خاک برای فورام‌سولفورون و صفر، ۹، ۱۸، ۳۶، ۷۲ و ۱۰۸میکروگرم در کیلوگرم خاک برای نیکوسولفورون که به‌ترتیب شامل صفر، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰درصد مقدار توصیه‌شده هر علف‌کش هستند) و گیاهان زراعی (نخود، عدس، لوبیا، گندم، جو و کلزا) بودند. جهت تحلیل نتایج آزمایش، ۳۰روز پس از سبزشدن گیاهان، درصد بقاء و زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی و ریشهٔ آنها اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادند که درصد بقاء و زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان مورد مطالعه تحت تأثیر معنی‌دار بقایای فورام‌سولفوران، ریم‌سولفوران و نیکوسولفوران قرار گرفت. با افزایش غلظت فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون در خاک، صفات مذکور در تمام گیاهان به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با افزایش غلظت ریم‌سولفورون در خاک، صفات مذکور فقط در کلزا به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بر اساس شاخص ED_{50}، لوبیا (۹۹/۰۵ و ۳۴/۶۵میکروگرم در کیلوگرم خاک به‌ترتیب در علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون) و جو (۰/۰۷ و ۰/۰۰۳میکروگرم در کیلوگرم خاک به‌ترتیب در علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون)، به‌ترتیب متحمل‌ترین و حساس‌ترین گیاهان زراعی به بقایای فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون بودند. از سوی دیگر، بر اساس شاخص ED_{50}، جو (۲۱۶/۰۲میکروگرم در کیلوگرم خاک) و کلزا (۲/۲۹میکروگرم در کیلوگرم خاک) به‌ترتیب متحمل‌ترین و حساس‌ترین گیاهان زراعی به بقایای ریم‌سولفورون بودند.

واژه‌های کلیدی: باقیمانده علف‌کش، تناوب زراعی، علف‌کش‌های سولفونیل اوره

مقدمه

علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره، از بازدارندگان عمل آنزیم استولاکتات سینتاز هستند که به‌طور گسترده‌ای برای کنترل طیف وسیعی از علف‌های‌هرز گیاهان زراعی پهن‌برگ و باریک‌برگ استفاده می‌شوند (Halloway *et al*, 2006). کنترل مطلوب علف‌های‌هرز، مقدار مصرف کم و سمیت اندک آنها برای پستانداران از مهم‌ترین عوامل افزایش روزافزون کاربرد آنها می‌باشد (Hadizadeh, 2010; Brandenberger *et al*., 2007). با وجود این، این گروه از علف‌کش‌ها از فعالیت خاکی و ماندگاری نسبتاً بالایی در خاک برخوردار هستند (Robinson *et al*., 2006; Secor, 1994; Moyer & Hamman, 2001) به‌طوری‌که برخی از علف‌کش‌های این گروه، حتی بیش از یک فصل زراعی بقای خود را در خاک حفظ کرده و به گیاهان زراعی حساس موجود در تناوب‌های بعدی صدمه وارد می‌کنند (Moyer & Hamman, 2001; Rauch *et al*., 2007; Minton *et al*., 2008; Seifert *et al*., 2001). ازاین‌رو، ماندگاری این علف‌کش‌ها در خاک و خسارت بقایای آنها به گیاهان زراعی در تناوب، گزینه‌های تناوب و انتخاب علف‌کش را محدود می‌سازد و توجه به این مهم، در طراحی و اجرای برنامه‌های تناوب زراعی مهم و قابل توجه می‌باشد (Rauch *et al*., 2007; Porterfield & Wilcut, 2003). اثرات سوء بقایای این علف‌کش‌ها بر سایر گیاهان زراعی به عوامل متعددی از جمله نوع گیاه زراعی، علف‌کش

* **نویسنده مسئول:** مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، همراه: ۰۹۱۵۳۲۱۶۲۳۷، e-izadi@um.ac.ir

به‌کاربرده‌شده، ویژگی‌های خاک، نوع شخم و اقلیم بستگی دارد (Greenland, 2003). گزارش‌های متعددی در ارتباط با حساسیت برخی از گیاهان زراعی به بقایای علف‌کش‌های مذکور در خاک ارائه شده است. در آزمایش زیست‌سنجی که به‌منظور ارزیابی تحمل گیاهان مختلف به بقایای علف‌کش‌های سولفونیل اوره انجام شد، نتایج نشان دادند که آفتابگردان نسبت به عدس و شلغم، از حساسیت بیشتری به بقایای این علف‌کش‌ها برخوردار است (Gunther *et al*., 1993). در مطالعه‌ای دیگر، گزارش شده است که پنبه، برنج، سویا و سورگوم باید ۱۴هفته بعد از کاربرد نیکوسولفورون کشت شوند تا از خسارت بقایای این علف‌کش ایمن بمانند (Johnson *et al*., 1993). در آزمایشی که به‌منظور زیست‌سنجی بقایای علف‌کش‌های آترازین، نیکوسولفورون، فورام‌سولفورون، نیکوسولفورون+ریم‌سولفورون، ریم‌سولفورون+فورام‌سولفورون با استفاده از گیاه شاخص شاهی انجام شد، نتایج نشان دادند که این گیاه کمترین میزان جوانه‌زنی و طول و وزن‌خشک شاخساره را در تیمار آترازین دارا بود و در بین علف‌کش‌های سولفونیل اوره، نیکوسولفورون بیشترین تأثیر را بر کاهش وزن‌خشک شاخساره شاهی داشت (Ghassam *et al*., 2010). Kelley & Peeper (2003) گزارش کردند که عملکرد آفتاب‌گردان و سورگوم در اثر خسارت بقایای علف‌کش سولفوسولفورون در خاک، به‌ترتیب ۲۳ و ۱۵درصد کاهش یافت. در مطالعه‌ای که توسط Greenland (2003) در ارتباط با حساسیت کلم به بقایای نیکوسولفورون انجام شد، خسارت ۲۵ تا ۴۰درصدی به کلم ناشی از بقایای نیکوسولفورون گزارش شد. Brandenberger *et al*, (2007) در آزمایشی که به‌منظور بررسی حساسیت اسفناج، کلم بروکلی و گندم به بقایای علف‌کش‌های به‌کاررفته برای هندوانه انجام دادند، مشاهده کردند که کاربرد سولفنترازون به‌میزان ۲۲۴گرم در هکتار، سبزشدن اسفناج را به‌شدت کاهش داد. نامبردگان گزارش کردند که کاربرد سولفنترازون به‌میزان ۴۵۰گرم در هکتار، سبزشدن گندم را به‌شدت کاهش داد. Porterfield & Wilcut (2003) گزارش کردند که کاربرد علف‌کش CGA-362622 از گروه سولفونیل‌اوره ها با نام تجاری (Monument™ 75WG) به‌صورت قبل از سبزشدن به‌مقدار ۳/۷۵ و ۷/۵گرم در هکتار در پنبه، به‌ترتیب ۱۱ و ۱۶درصد خسارت به نخود کشت‌شده بعد از پنبه وارد کرد و کاربرد آن به‌صورت پس از سبزشدن در پنبه، به‌ترتیب ۶۳ و ۹۳درصد خسارت به نخود کشت‌شده بعد از پنبه وارد کرد. در مطالعه‌ای که توسط Halloway *et al*, (2006) در ارتباط با حساسیت نخود و عدس به بقایای کلروسولفورون، مت‌سولفورون و تریاسولفورون انجام شد، مشاهده شد که عدس نسبت به نخود به بقایای علف‌کش‌های مذکور، آسیب‌پذیرتر بود. نامبردگان همچنین گزارش کردند که در بین گیاهان کلزا، نخود، عدس و یونجه، کلزا حساس‌ترین گیاه به بقایای ایمازاتاپیر و مقاوم‌ترین گیاه به علف‌کش‌های کلروسولفورون و مت‌سولفورون بود.

فورام‌سولفورون، ریم‌سولفورون و نیکوسولفورون از مهم‌ترین علف‌کش‌های گروه سولفونیل‌اوره هستند که برای کنترل علف‌های‌هرز باریک‌برگ و برخی پهن‌برگ‌ها در ذرت به‌کار می‌روند (Johnson *et al*., 1993; Ghassam *et al*., 2010; Secor, 1994; Robinson *et al*., 2006; Moyer & Hamman, 2001) و بقایای آنها در خاک ممکن است به گیاهان زراعی حاضر در تناوب آسیب وارد کند. لذا، این آزمایش با هدف بررسی پاسخ گیاهان مختلف زراعی، از جمله نخود، عدس و لوبیا به‌عنوان مهم‌ترین حبوبات کشت‌شده در تناوب با ذرت، به بقایای شبیه‌سازی‌شده علف‌کش‌های مذکور در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان سال۱۳۸۹ به‌منظور بررسی حساسیت برخی گیاهان زراعی به بقایای شبیه‌سازی‌شده علف‌کش‌های فورام‌سولفورون، ریم‌سولفورون و نیکوسولفورون در خاک، در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار اجرا شد. شرایط دمایی گلخانه به‌ترتیب ۱۸ و ۲۴درجهٔ‌سانتی‌گراد روزانه-شبانه با شدت تشعشع ۵۷/۸کیلولوکس با طول‌روز ۱۱ساعت بود.

عوامل مورد بررسی در این آزمایش، شامل علف‌کش‌های مختلف در سه سطح به‌صورت ریم‌سولفورون (P ۲۵درصد)، فورام‌سولفورون (EC ۴۵درصد) و نیکوسولفورون (EC ۴۰درصد)، غلظت‌های مختلف علف‌کش‌ها در خاک در شش سطح شامل صفر، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۹ و ۱/۳میکروگرم در کیلوگرم خاک ریم‌سولفورون؛ صفر، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰میکروگرم در کیلوگرم خاک فورام‌سولفورون؛ صفر، ۹، ۱۸، ۳۶، ۷۲ و ۱۰۸میکروگرم در کیلوگرم خاک نیکوسولفورون که به‌ترتیب شامل صفر، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۰درصد مقدار توصیه‌شده هر علف‌کش (۴۰گرم در هکتار ریم‌سولفورون، ۲لیتر در هکتار فورام‌سولفورون و ۲لیتر در هکتار نیکوسولفورون) هستند و گیاهان زراعی در شش سطح (نخود، عدس، لوبیا، گندم، جو و کلزا) بودند. برای این منظور، مقادیر مورد نیاز از فرمولاسیون تجاری علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون برای هر یک از سطوح درصد از مقدار توصیه‌شده هر علف‌کش محاسبه شد. مقادیر فوق از فرمولاسیون تجاری هر

علف‌کش برداشته و پس از انحلال در ۵۰سی‌سی آب برای اختلاط با خاک استفاده شد. به‌منظور اختلاط کامل علف‌کش‌ها با خاک، پس از محاسبه وزن خاک هر گلدان با قطر دهانهٔ ۱۲سانتی‌متر (به‌میزان ۵۷۲گرم)، به تعداد گلدان‌های هر تیمار، خاک مورد نظر به‌میزان تقریبی ۱۶کیلوگرم تهیه شد و برای سهولت و یکنواختی در اختلاط علف‌کش‌ها، ابتدا هر یک از محلول‌های تهیه‌شده به‌طور یکنواخت روی ۲کیلوگرم از خاک ریخته و پس از تبخیر آب، کاملاً با خاک مخلوط شد. سپس نمونهٔ ۲کیلوگرمی خاک هر غلظت علف‌کش با سایر خاک‌های هر تیمار مجدداً به‌طور یکنواخت مخلوط شد. در مورد ریم‌سولفورون، ابتدا محلول ۱۰۰۰قسمت در میلیون (محلول پایه) با استفاده از فرمولاسیون تجاری علف‌کش و با درنظرگرفتن درجهٔ خلوص آن، در آب‌مقطر تهیه و سپس با استفاده از محلول پایه، محلول ۱۰قسمت در میلیون، تهیه و از این محلول برای تهیه غلظت‌های موردنظر علف‌کش برای اختلاط با خاک استفاده شد. برای تهیه محلول‌های فوق از محلول پایه، از معادله۱ استفاده شد.

معادله۱: $N1V1=N2V2$

در این معادله N1، V1، N2 و V2 به‌ترتیب شامل محلول با غلظت معلوم، حجمی از محلول با غلظت معلوم، محلول با غلظت مجهول و حجم مشخصی از محلول با غلظت مجهول می‌باشند.

سپس مشابه دو علف‌کش قبل، به‌منظور اختلاط کامل علف‌کش با خاک، ابتدا۵۰میلی‌لیتر از هر یک از محلول‌های تهیه‌شده برای هر غلظت به‌طور یکنواخت روی ۲کیلوگرم از خاک آماده‌شده ریخته و پس از تبخیر کامل آب، باقیمانده علف‌کش با خاک مخلوط شد. سپس نمونه ۲کیلوگرمی خاک هر غلظت با سایر خاک‌های هر تیمار مجدداً به‌طور یکنواخت مخلوط شد. پس از آماده‌سازی، خاک‌های آلوده‌شده به علف‌کش‌ها به گلدان‌ها منتقل و بذرهای گیاهان زراعی به تعداد۱۰بذر در هر گلدان کشت شدند. برای ممانعت از آبشویی علف‌کش‌ها، گلدان‌ها در حدی آبیاری شدند که فاضلاب خروجی نداشته باشند و در طول رشد، گیاهان در حد ظرفیت‌زراعی مرطوب باشند. ۱۰روز پس از سبزشدن، گیاهان تنک و تراکم آنها به سه بوته در هر گلدان برای نخود و لوبیا و پنج بوته در هر گلدان برای عدس، گندم، جو و کلزا تنظیم شدند. ۳۰روز پس از سبزشدن، درصد بقای گیاهان هر گلدان تعیین شد. سپس گیاهان از محل طوقه برداشت و پس از خاک‌شویی، ریشه آنها به آزمایشگاه منتقل و پس از ۴۸ساعت قراردادن آنها در آونی با دمای۶۰درجهٔ‌سانتی‌گراد، با ترازوی دیجیتال دقت صدم توزین شدند (Szmigielski *et al.*, 2010). پس از ثبت داده‌های آزمایش، برای تجزیه آماری آنها از نرم‌افزار SAS و MSTAT-C استفاده شد و مقایسهٔ میانگین‌ها در سطح احتمال ۵درصد و بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام شد. تجزیه رگرسیون داده‌های حاصل، با استفاده از نرم‌افزار R و از برازش زیست‌تودهٔ تولیدشده گیاهان به معادله لجستیک چهار پارامتری استفاده شد (معادله۲) و غلظت لازم برای۵۰درصد کاهش زیست‌تودهٔ گیاهان زراعی(ED_{50}) محاسبه شد و در تحلیل نتایج آزمایش، به‌کار گرفته شدند (Santin-Montanya *et al.*, 2006).

معادله۲:

$$f(n,(b,c,d,e)) = c + \frac{d-c}{1+\exp\{b(\log(x)-\log(e))\}}$$

در این معادله، b شیب منحنی، c حد پایین منحنی پاسخ وقتی که بیشترین مقدار علف‌کش استفاده شد، e غلظتی از علف‌کش که سبب۵۰درصد کاهش در مقدار پاسخ می‌شود و d حد بالای منحنی پاسخ وقتی که میزان کاربرد علف‌کش صفر است. یادآوری می‌شود زمانی که در معادلهٔ چهار پارامتری، اثر متغیر c از نظر آماری معنی‌دار نبود، با حذف آن، از معادلهٔ سه‌پارامتری برای این منظور استفاده شد.

نتایج و بحث

باتوجه به نتایج آزمایش، بقایای علف‌کش‌های مورد مطالعه در خاک، بقاء و وزن‌خشک ریشه و ساقهٔ تمام گیاهان زراعی مورد مطالعه را به‌طور کاملاً معنی‌داری ($p\leq0.01$) کاهش داد (جدول۱). نتایج حاصل نشان دادند که با افزایش بقایای فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون در خاک، تأثیر آنها بر صفات مذکور افزایش یافت. از سوی دیگر، بقایای ریم‌سولفورون در خاک، هرچند تأثیری بر بقای گیاهان مورد مطالعه نداشتند، اما زیست‌تودهٔ خشک ریشه و اندام‌های هوایی را در گیاهان مورد مطالعه به‌طور معنی‌داری کاهش داد (جدول۲). بر اساس نتایج مقایسات میانگین حاصل از آنالیز واریانس داده‌های آزمایش، با توجه به روند تغییرات زیست‌تودهٔ اندام هوایی حبوبات در پاسخ به بقایای علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک، تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد (جدول۲). بر این اساس، به‌نظر می‌رسد این حبوبات به بقایای ریم‌سولفورون در خاک مقاوم باشند. با وجود این، بر اساس پارامترهای برآوردشده توسط معادلات لجستیک سه و چهار پارامتری، لوبیا متحمل‌ترین و عدس، حساس‌ترین گیاهان به بقایای ریم‌سولفورون در خاک بودند، به‌طوری‌که به‌ترتیب کمترین (۰/۵۴) و بیشترین (۱۴/۴۷) شیب تغییرات زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی را در پاسخ به افزایش باقیمانده ریم‌سولفورون در خاک داشتند (جدول ۳).

جدول۱- منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات مربوط به درصد بقاء، وزن‌خشک اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان زراعی به بقایای ریم‌سولفورون، فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون

Table 1. Source of variations, degree of freedom and mean of squares related to survival (%) and crops shoot and root dry matter (% of control) to rimsulfuron, foramsulfuron and nicosulfuron soil residual

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	درصد بقاء Survival	وزن‌خشک اندام‌های هوایی Root dry matter	وزن‌خشک ریشه Shoot dry matter
گیاه زراعی Crop (C)	5	11100.56**	5584.33**	11787.99**
علف‌کش Herbicide (H)	2	49972.78**	132928.22**	111976.63**
Herbicide concentration (HC)	5	17098.64**	35140.28**	32787.77**
C × H	10	2351.18**	2912.96**	2308.96**
C × HC	25	806.63**	394.68**	876.77**
H × HC	10	3572.39**	5449.07**	4683.93**
C × H× HC	50	349.56**	235.9**	270.46**
خطا Error	214	155.39	54.17	67.83
CV	-	16.72	14.95	15.83

** Significant in %1 level

جدول۲- مقایسه میانگین درصد بقاء، وزن‌خشک اندام‌های هوایی و ریشهٔ گیاهان زراعی در غلظت‌های مختلف ریم‌سولفوران

Table 2. Means comparisons of crops survival, shoots and root dry matter in different concentration of rimsulfuron in soil

Crop	Herbicide concentration (% of recommended dose)	Survival (%)	Root dry matter (% of control)	Shoot dry matter (% of control)
نخود Pea	0	100.00 a*	100.00 a	100.00 a
	2.5	100.00 a	91.64 a-e	98.36 ab
	5	100.00 a	88.15 a-f	90.62 a-f
	10	100.00 a	87.16 a-f	91.14 a-f
	20	100.00 a	85.29 a-f	88.99 a-h
	30	100.00 a	72.81 ef	77.79 e-j
لوبیا Bean	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	100.00 a	97.02 a-c	97.79 ab
	5	100.00 a	95.29 a-d	97.09 a-c
	10	100.00 a	91.95 a-e	96.42 a-c
	20	100.00 a	91.43 a-e	95.94 a-d
	30	100.00 a	85.58 a-f	93.54 a-e
عدس Lentil	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	100.00 a	88.92 a-e	89.06 a-h
	5	100.00 a	87.27 a-f	83.41 a-j
	10	100.00 a	85.36 a-f	85.16 a-h
	20	100.00 a	85.64 a-f	81.96 b-j
	30	100.00 a	84.94 a-f	84.69 a-i
گندم Wheat	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	100.00 a	99.15 ab	98.39 ab
	5	100.00 a	98.10 a-c	97.06 a-c
	10	100.00 a	97.06 a-c	91.51 a-f
	20	100.00 a	97.15 a-c	89.89 a-h
	30	100.00 a	97.24 a-c	90.52 a-g
کلزا Rape	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	100.00 a	92.14 a-e	87.56 a-h
	5	100.00 a	84.20 c-f	91.94 a-f
	10	93.33 ab	73.62 fg	76.02 f-j
	20	80.00 a-d	63.38 gh	68.79 i-l
	30	66.67 c-f	61.21 gh	59.54 kl
جو Barley	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	100.00 a	85.91 a-f	80.93 c-j
	5	100.00 a	84.63 b-f	78.99 e-j
	10	100.00 a	84.71 b-f	79.16 e-j
	20	100.00 a	83.50 c-f	79.84 d-j
	30	100.00 a	81.67 d-f	79.86 d-j

*In each column valuse followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level.

در بین سایر گیاهان مورد مطالعه، کلزا حساس‌ترین آنها به بقایای ریم‌سولفورون بود، به‌طوری‌که به‌طور متوسط، بیشترین تلفات زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی تولیدی در غلظت‌های مختلف ریم‌سولفورون (۴۰درصد) (جدول۲) و بیشترین شیب تغییرات زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی (۱/۱۷) (جدول۳) را در پاسخ به افزایش باقیماندهٔ علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک داشت. در بین همهٔ گیاهان زراعی مورد مطالعه، تلفات زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی، فقط در نخود و کلزا در بالاترین و پایین‌ترین غلظت ریم‌سولفورون، معنی‌دار بود. با وجود این، بیشترین (۴۰درصد) و کمترین (۶درصد) تلفات زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی تولیدی در غلظت‌های مختلف ریم‌سولفورون، به‌ترتیب متعلق به کلزا و لوبیا بودند (جدول۲).

در بررسی روند تغییرات وزن‌خشک ریشه گیاهان مورد مطالعه، مشاهده شد که با افزایش باقیمانده ریم‌سولفورون در خاک، رشد زیست‌تودهٔ ریشه نیز مانند ساقه در همه گیاهان کاهش یافت و در بین گیاهان مورد بررسی، صفت مذکور فقط در کلزا و جو از لحاظ آماری معنی‌دار بود (جدول۲). بر اساس نتایج، بیشترین کاهش وزن‌خشک ریشه در کلزا (۳۸/۷۹درصد) و کمترین کاهش وزن‌خشک ریشه، در گندم (۲/۷۶درصد) مشاهده شد. از آنجایی‌که ریشه نسبت به ساقه در معرض مستقیم بقایای علف‌کش قرار دارد، به‌نظر می‌رسد تأثیرپذیری آن نسبت به ساقه در پاسخ به بقایای علف‌کش، بیشتر باشد. از سوی دیگر، ازآنجاکه علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره علاوه بر ممانعت سنتز اسیدهای‌آمینه، تقسیم سلولی را نیز با اختلال مواجه می‌کنند (Secor, 1994)، به‌نظر می‌رسد از این طریق مانع از تقسیم سلولی و توسعه اندام‌های مرتبط با آنها، به‌ویژه ریشه می‌شوند. ازاین‌رو، به‌نظر می‌رسد تأثیر منفی علف‌کش‌های مذکور بر رشد و توسعه ریشه، به‌دلیل این مهم باشد که بر اساس نتایج آزمایش نیز مشاهده می‌شود که با افزایش باقیمانده علف‌کش‌های مذکور، رشد ریشه در همهٔ گیاهان کاهش یافته است. بااین‌حال، بسته به نوع گیاه و علف‌کش، نتایج متفاوتی مشاهده شد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که بین حساسیت ریشه و ساقه گیاهان مورد مطالعه به بقایای ریم‌سولفورون، اختلاف وجود دارد و در گیاهان مختلف، پاسخ‌های متفاوتی مشاهده شد. بر اساس نتایج حاصل، در عدس، گندم، کلزا و جو، اندام‌های هوایی حساس‌تر و در لوبیا و نخود، ریشه به بقایای ریم‌سولفورون حساس‌تر بودند (جدول۲). در مطالعات مربوط به زیست‌سنجی باقیماندهٔ علف‌کش‌ها، رشد ریشه گیاهان محک از شاخص‌های مهم در ارزیابی حساسیت گونه‌ها به بقایای علف‌کش و تعیین بقایای احتمالی آنها به‌شمار می‌رود. Halloway (2006) در ارزیابی استفاده از زیست‌سنجی بقایای مت‌سولفورون با استفاده از گیاه عدس گزارش کرد که حساسیت رشد ریشه عدس به بقایای این علف‌کش، شاخص مطلوبی در تعیین بقایای احتمالی علف‌کش مذکور است. مقایسه نتایج حاصل از تأثیر بقایای ریم‌سولفورون بردرصد بقای گیاهان مورد بررسی نشان داد که بین گیاهان، از نظردرصد بقاء، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول۲)، به‌طوری‌که‌درصد بقای لوبیا، نخود، عدس، گندم و جو، تحت تأثیر بقایای ریم‌سولفورون قرار نگرفت. اما درصد بقای کلزا در غلظت‌های بالاتر از ۰/۴میکروگرم در کیلوگرم، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و به ۶۶درصد رسید (جدول۲).

در بسیاری از مطالعات مربوط به آزمایشات زیست‌سنجی بقایای علف‌کش، شاخص ED_{50} برای زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی گیاه از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی حساسیت گیاهان به بقایای علف‌کش و طبقه‌بندی آنها بر این اساس می‌باشد (Santin-Montanya *et al*., 2006; Halloway *et al*., 2006). بر اساس نتایج این آزمایش، بیشترین و کمترین پارامتر ED_{50} برای زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی، به‌ترتیب در جو (۲۱۶میکروگرم در کیلوگرم خاک) و کلزا (۲/۲۹میکروگرم در کیلوگرم خاک) به‌دست آمد. بر این اساس، به‌نظر می‌رسد در بین گیاهان مورد مطالعه، جو متحمل‌ترین و کلزا حساس‌ترین گیاهان به بقایای ریم‌سولفورون در خاک باشند و سایر گیاهان بر اساس شاخص مذکور به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند(جدول۳):

کلزا> عدس> نخود> لوبیا> گندم> جو

در بررسی‌های انجام‌شده در مورد حساسیت گیاهان زراعی به بقایای علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره در خاک، نتایج متناقضی گزارش شده است؛ از جمله این که سولفوسولفورون در مقادیر ۳۶ و ۷۵گرم ماده مؤثره در هکتار پس از ۱۲ماه از مصرف این علف‌کش، باعث کاهش ۳۱ تا ۷۳درصد عملکرد کلزا شد (Shin *et al*., 1998). Moyer *et al*, (1995) در مزارع تحت تیمار با علف‌کش مت‌سولفورون و تریاسولفورون، گزارش کردند که کلزا، عدس و نخود آسیب دیدند، درحالی‌که جو حساسیتی به بقایای علف‌کش مذکور نداشت.

جدول۳- پارامترهای حاصل از برازش داده‌های زیست‌تودهٔ خشک اندام‌های هوایی گیاهان به مدل سه و چهار پارامتری لجستیکی در غلظت‌های مختلف بقایای ریم‌سولفورون در خاک

Table 3. Parameters (±SE) estimated by 3 and 4 logistic parameter equations fitted to aboveground biomass in different concentration of rimsulfuron in soil

Crop	Equation	b	C	d	ED_{50} (μ kg^{-1} soil)
Bean	3 parameter	0.54 (0.85)	-	98.55 (2.53)	16.25 (5.67)*
Lentil	4 parameter	14.47 (6.89)	83.80 (1.46)	99.99 (2.93)	6.71 (3.02)
Pea	3 parameter	0.75 (0.34)	-	99.62 (3.14)	8.12 (7.05)
Barley	4 parameter	0.02 (0.12)	99.99 (3.17)	99.96 (3.08)	216.02 (39.4)
Rape	3 parameter	1.17 (0.21)	-	99.43 (4.36)	2.29 (0.66)
Wheat	4 parameter	0.83 (0.29)	90.12 (2.24)	99.39 (2.67)	63.34 (26.87)

(Standard error)*

بررسی نتایج حاصل از پاسخ گیاهان زراعی مورد مطالعه به بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک نشان دادند که با افزایش غلظت علف‌کش فورام‌سولفورون از صفر به ۱۲۰میکروگرم در کیلوگرم خاک، زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی گیاهان مورد مطالعه کاهش معنی‌داری ($p\leq0.01$) داشت. در بین حبوبات مورد مطالعه، لوبیا با کمترین تلفات زیست‌توده (۵۹درصد)، متحمل‌ترین و نخود با بیشترین تلفات زیست‌توده (۱۰۰درصد)، حساس‌ترین گیاهان به بقایای این علف‌کش بودند (جدول۴). نتایج همچنین نشان دادند که بیشترین تلفات زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی سه گیاه گندم، جو و کلزا در بالاترین غلظت علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک تقریباً ۱۰۰درصد برآوردشده است (جدول۴) و در بین گیاهان مذکور، اختلاف معنی‌داری در پاسخ به بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک وجود نداشت و زیست‌تودهٔ آنها در غلظت‌های بالاتر از ۱۰میکروگرم در کیلوگرم خاک، بدون اختلاف معنی‌داری با بالاترین غلظت (۱۲۰میکروگرم در کیلوگرم خاک) تقریباً به صفر رسید (جدول ۴). به‌طورکلی، در بین گیاهان مورد بررسی هرچند بیشترین تلفات زیست‌تودهٔ تولیدی (۱۰۰درصد)، در غلظت‌های مختلف فورام‌سولفوران در نخود و کلزا مشاهده شد، اما با توجه به روند تغییرات زیست‌توده، به‌نظر می‌رسد کلزا حساسیت بیشتری به بقایای فورام‌سولفورون در خاک داشته باشد، به‌طوری‌که در پایین‌ترین غلظت فورام‌سولفوران (۱۰میکروگرم در خاک) بیشترین (۹۶/۲۸درصد) تلفات زیست‌توده را در بین تمام گیاهان مورد مطالعه داشت و در غلظت‌های بالاتر از۱۰میکروگرم در خاک، زیست‌تودهٔ تولیدی آن بدون اختلاف معنی‌داری با بالاترین غلظت به صفر رسید. بعد از کلزا، تلفات زیست‌تودهٔ جو (۹۵/۶۱درصد) و گندم (۹۱/۴۲درصد) در پایین‌ترین غلظت فورام‌سولفورون (۱۰میکروگرم در خاک) در رتبه‌های بعدی حساسیت به بقایای فورام‌سولفورون در خاک قرار گرفتند. از سوی دیگر در بین گیاهان مورد بررسی، کمترین تلفات زیست‌توده (۵۹درصد) در غلظت‌های مختلف فورام‌سولفورون در لوبیا مشاهده شد و با توجه به روند تغییرات زیست‌تودهٔ اندام هوایی آن به‌نظر می‌رسد لوبیا متحمل‌ترین گیاه به بقایای فورام‌سولفورون در خاک باشد. به این دلیل که در بالاترین غلظت فورام‌سولفورون (۱۲۰میکروگرم در خاک) کمترین (۵۹درصد) تلفات ماده خشک را داشت. در آزمایشی که به‌منظور ارزیابی پاسخ لوبیا به بقایای فورام‌سولفورون به‌کار برده‌شده در ذرت انجام شد، گزارش‌شده است که بقایای فورام‌سولفورون یک سال بعد از کاربرد در ذرت، خسارت قابل‌توجه و کاهش معنی‌دار زیست‌توده را در لوبیا ایجاد نکرد (Robinson *et al*., 2006). به‌طورکلی، براساس نتایج حاصل، به‌نظر می‌رسد سه گیاه گندم، جو و کلزا نسبت به حبوبات (لوبیا، نخود و عدس)، حساسیت بیشتری به بقایای فورام‌سولفورون در خاک دارند، به‌طوری‌که به کمترین بقایای این علف‌کش در خاک به‌شدت واکنش نشان می‌دهند (جدول۴).

مطالعات انجام‌شده در این ارتباط، بسته به نوع علف‌کش، نتایج متفاوت و متناقضی را به‌همراه داشته است. Halloway *et al*, (2006) در بین گیاهان زراعی کلزا، نخود، عدس و یونجه، عدس را به‌عنوان حساس‌ترین گیاهان زراعی به بقایای علف‌کش‌های کلروسولفورون، تریاسولفورون و مت‌سولفورون معرفی کردند. Osten & Walker (1998) نیز در مطالعات خود، عدس را در مقایسه با نخود، گیاه حساس‌تری به بقایای علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره معرفی کردند. در آزمایش مزرعه‌ای که به‌منظور بررسی تأثیر باقیمانده علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره بر کلزا انجام شد، گزارش شده است که بقایای علف‌کش سولفوسولفورون در خاک، منجر به کاهش عملکرد کلزا در تناوب با گندم می‌شود، به‌طوری‌که افزایش مقدار کاربرد آن از ۴۲ به ۵۲گرم ماده مؤثره در هکتار، تلفات عملکرد کلزا را از ۱۳/۵ به ۱۷/۵درصد افزایش داد (Mansoori *et al*., 2008).

جدول۴- مقایسه میانگین درصد بقاء، وزن‌خشک اندام‌های هوایی و ریشهٔ گیاهان زراعی در غلظت‌های مختلف فورام‌سولفورون
Table 4. Means comparisons of crops survival and shoots and root dry matter in different concentration of foramsulfuron in soil

Crop	Herbicide concentration (% of recommended dose)	Survival (%)	Root dry matter (% of control)	Shoot dry matter (% of control)
نخود Pea	0	100.00 a*	100.00 a	100.00 a
	2.5	67.00 c-f	29.34 k-m	53.82 l-n
	5	78.00 a-e	23.32 l-p	44.06 m-o
	10	45.00 f-i	12.40 o-s	20.19 q-s
	20	44.67 f-i	11.00 o-s	10.63 q-w
	30	0.00 j	0.00 s	0.00 w
لوبیا Bean	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	100.00 a	96.01 a-d	96.40 a-c
	5	100.00 a	91.48 a-e	96.50 a-c
	10	89.00 a-c	78.60 ef	85.75 a-h
	20	66.67 c-f	57.89 hi	58.02 lm
	30	44.67 f-i	38.33 jk	41.86 no
عدس Lentil	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	100.00 a	58.22 hi	59.92 kl
	5	93.33 ab	52.49 hi	58.60 l
	10	86.67 a-c	35.01 j-l	38.67 op
	20	86.67 a-c	26.05 k-n	26.31 pq
	30	60.00 d-g	12.26 o-s	17.69 q-v
گندم Wheat	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	100.00 a	6.35 rs	8.57 s-w
	5	100.00 a	4.82 s	3.99 t-w
	10	93.33 ab	3.87 s	2.70 u-w
	20	80.00 a-d	2.50 s	1.38 vw
	30	53.33 e-h	2.67 s	2.09 u-w
کلزا Rape	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	46.67 f-i	4.01 s	3.72 t-w
	5	26.67 i	2.68 s	1.75 vw
	10	0.00 j	0.00 s	0.00 w
	20	0.00 j	0.00 s	0.00 w
	30	0.00 j	0.00 s	0.00 w
جو Barley	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	86.67 a-c	3.82 s	4.39 s-w
	5	73.33 b-e	3.15 s	3.08 t-w
	10	60.00 d-g	2.72 s	2.52 u-w
	20	53.33 e-h	2.20 s	2.06 u-w
	30	40.00 g-i	1.60 s	1.62 vw

*In each column, valuse followed by the same letters are not significantly different at 5% probability.

در بررسی روند تغییرات رشد ریشه گیاهان مورد بررسی نیز نتایج مشابهی مشاهده شد. با افزایش بقایای فورام‌سولفورون در خاک، رشد ریشه گیاهان مانند اندام‌های هوایی در همه گیاهان به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.01$) کاهش یافت و در این صفت، لوبیا با ۶۲درصد کاهش وزن‌خشک، کمترین تلفات را نسبت به سایر گیاهان داشت. با توجه به نتایج آزمایش، بیشترین کاهش رشد ریشه در کلزا و نخود (۱۰۰درصد)، جو (۹۹درصد) و گندم (۹۸درصد) مشاهده شد، با این حال، بررسی نتایج نشان داد که در بین گیاهان زراعی مورد مطالعه، تأثیرپذیری ریشه نخود نسبت به ساقه در پاسخ به بقایای فورام‌سولفورون در خاک، بیشتر از سایر گیاهان بود و تلفات رشد ریشه لوبیا، عدس، گندم، جو و کلزا در پاسخ به بقایای فورام‌سولفورون در خاک، مشابه کاهش زیست‌تودهٔ آنها بود (جدول۴). نتایج حاصل از این بررسی، ضمن این‌که نشان از اختلاف در حساسیت ریشه و اندام‌های هوایی گیاهان مورد مطالعه به بقایای فورام‌سولفورون در خاک دارد، نشان داد که ارزیابی زیست‌سنجی علف‌کش مذکور با استفاده از ریشه نخود، گندم، جو و کلزا نسبت به سایر گیاهان مورد بررسی احتمالاً مناسب‌تر باشد، هرچند آزمایشات تکمیلی و مزرعه‌ای بیشتری در این راستا نیاز است. Szmigielski *et al*, (2010) در ارزیابی روش زیست‌سنجی ریشه خردل در تعیین بقایای احتمالی علف‌کش فلوکاربازون، گزارش کردند که این روش نسبت به روش شیمیایی در تعیین بقایای احتمالی علف‌کش مذکور، روش بهتری است، به‌طوری‌که بر اساس ارزیابی نامبردگان، روش زیست‌سنجی ریشه خردل بیش از ۸۸درصد نتایج قابل‌قبولی را در تعیین بقایای احتمالی علف‌کش فلوکاربازون داشت. نتایج به‌دست‌آمده از درصد بقای گیاهان بررسی‌شده نشان داد که درصد بقای کلزا در غلظت‌های بالاتر از ۱۰میکروگرم در خاک، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و به

صفر رسید، حال این‌که درصد بقای لوبیا و گندم، تحت تأثیر قرار نگرفت و در سایر گیاهان، به‌جُز در بالاترین غلظت فورام‌سولفورون، اختلافی مشاهده نشد (جدول۴).

تجزیه رگرسیون داده‌های حاصل از زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی گیاهان مورد مطالعه نیز نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار پارامتر ED_{50} در علف‌کش فورام‌سولفورون به‌ترتیب در لوبیا (۹۹/۰۵ میکروگرم در خاک) و جو (۰/۰۷میکروگرم در خاک) مشاهده شد. بر این اساس به‌نظر می‌رسد لوبیا، متحمل‌ترین و جو حساس‌ترین گیاه به بقایای فورام‌سولفورون در خاک باشند. بر طبق پارامترهای برآوردشده از معادلات لجیستیکی، سایر گیاهان مورد بررسی از نظر حساسیت به بقایای فورام‌سولفورون در خاک، به‌صورت زیر طبقه‌بندی می‌شوند (جدول۵):

جو> کلزا> گندم> نخود> عدس> لوبیا

جدول۵- پارامترهای حاصل از برازش داده‌های زیست‌تودهٔ خشک اندام‌های هوایی گیاهان به مدل ۳ و ۴ پارامتری لجستیکی در غلظت‌های مختلف بقایای فورام‌سولفورون در خاک

Table 5. Parameters (±SE) estimated by 3 and 4 logistic parameter equations fitted to aboveground biomass in different concentration of foramsulfuron in soil

Crop	Equation	b	C	d	ED_{50} (μ kg^{-1} soil)
Bean	3 parameter	1.92 (0.39)	-	99.54 (3.3)	99.05 (7.83)*
Lentil	3 parameter	0.80 (0.12)	-	99.39 (4.7)	22.47 (4.18)
Pea	3 parameter	1.2 (0.170	-	99.39 (4.69)	13.28 (1.91)
Barley	3 parameter	0.46 (0.05)	-	99.99 (0.51)	0.07 (0.01)
Rape	3 parameter	1.53 (0.4)	-	100.00 (0.51)	1.22 (0.72)
Wheat	4 parameter	1.58 (0.32)	1.62 (0.37)	99.99 (0.39)	1.95 (0.62)

(Standard error)*

نتایج حاصل از پاسخ گیاهان زراعی به بقایای نیکوسولفورون نیز نشان داد که همه گیاهان مورد بررسی، به بقایای این علف‌کش در خاک حساس هستند و با افزایش باقیمانده این علف‌کش در خاک، زیست‌تودهٔ گیاهان به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.01$) کاهش یافت. بر اساس نتایج آزمایش، غلات مورد مطالعه نسبت به حبوبات، به بقایای این علف‌کش در خاک حساس‌تر بودند و با توجه به روند تغییرات زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی در بین حبوبات مورد مطالعه، لوبیا با کمترین (۸۰درصد) تلفات زیست‌توده، متحمل‌ترین گیاه به به بقایای نیکوسولفورون در خاک بود (جدول۶). در بین سایر حبوبات، هرچند بیشترین (۱۰۰درصد) تلفات در بالاترین غلظت نیکوسولفورون در خاک (۱۰۸میکروگرم در خاک) متعلق به نخود بود، ولی با توجه به روند تغییرات زیست‌توده در بین حبوبات، عدس، حساس‌ترین گیاه به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون بود، چراکه در غلظت‌های بالاتر از صفر این علف‌کش، تلفات زیست‌تودهٔ آن بدون اختلاف معنی‌داری با بالاترین غلظت علف‌کش (۱۰۸میکروگرم در خاک) به ۹۶درصد رسید (جدول۶). همچنین نتایج نشان دادند که گندم، جو و کلزا کاملاً به بقایای نیکوسولفورون در خاک حساس هستند و بین گیاهان مذکور از نظر حساسیت به بقایای نیکوسولفورون، اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، به‌طوری‌که زیست‌تودهٔ اندام‌های هوایی هر سه گیاه در غلظت‌های پس از صفر این علف‌کش، بدون اختلاف معنی‌داری با بالاترین غلظت (۱۰۸میکروگرم در خاک) تقریباً به صفر رسید (جدول۶). به‌طورکلی، با توجه به روند تغییرات زیست‌توده در بین همه گیاهان مورد بررسی، بیشترین (۱۰۰درصد) تلفات زیست‌توده، متعلق به کلزا بود (جدول۶).

براساس گزارش‌ها، توصیه شده است که پنبه، برنج، سویا و سورگوم، باید ۱۴هفته بعد از کاربرد نیکوسولفورون کشت شوند تا از خسارت بقایای این علف‌کش، ایمن بمانند (Johnson *et al.*, 1993). در آزمایشی که به‌منظور زیست‌سنجی بقایای علف‌کش‌های آترازین، نیکوسولفورون، فورام‌سولفورون، نیکوسولفورون+ریم‌سولفورون، ریم‌سولفورون+فورام‌سولفورون با استفاده از گیاه شاخص شاهی انجام شد، مشاهده گردید که در بین علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره، نیکوسولفورون بیشترین تأثیر را بر کاهش زیست‌تودهٔ شاهی داشت (Ghassam *et al.*, 2010). نتایج آزمایش همچنین نشان دادند که وزن‌خشک ریشه گیاهان زراعی مورد بررسی با افزایش باقیمانده نیکوسولفورون در خاک، به‌طور معنی‌داری ($p\leq0.01$) کاهش یافت. در بین گیاهان زراعی مورد مطالعه و با توجه به روند تغییرات ماده خشک ریشه، به‌نظر می‌رسد کلزا، گندم و جو، حساس‌ترین گیاهان به بقایای نیکوسولفورون در خاک باشند، به‌طوری‌که در پایین‌ترین غلظت علف‌کش (۹میکروگرم در خاک)، بیشترین (۹۸درصد) کاهش وزن‌خشک ریشه را داشتند و در غلظت‌های پس از ۹میکروگرم در خاک، وزن‌خشک ریشه آنها بدون اختلاف معنی‌داری با بالاترین غلظت (۱۰۸میکروگرم در خاک) تقریباً به صفر رسید (جدول۶).

جدول۶- مقایسه میانگین‌درصد بقاء، وزن‌خشک اندام‌های هوایی و ریشهٔ گیاهان زراعی در غلظت‌های مختلف نیکوسولفورون

Table 6. Means comparisons of crops survival, shoots and root dry matter in different concentration of nicosulfuron in soil

Crop	Herbicide concentration (% of recommended dose)	Survival (%)	Root dry matter (% of control)	Shoot dry matter (% of control)
نخود Pea	0	100.00 a*	100.00 a	100.00 a
	2.5	100.00 a	45.81 ij	68.15 j-l
	5	89.00 a-c	26.87 k-n	38.05 op
	10	56.00 d-h	20.77 m-q	24.44 p-r
	20	34.00 hi	10.51 o-s	18.61 q-u
	30	0.00 j	0.00 s	0.00 w
لوبیا Bean	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	100.00 a	24.53 l-o	74.15 g-k
	5	100.00 a	19.97 m-r	73.82 h-k
	10	78.00 a-e	13.83 n-s	44.18 m-o
	20	34.00 hi	9.44 p-s	34.72 op
	30	22.67 i	5.38 s	19.32 q-t
عدس Lentil	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	80.00 a-d	11.54 o-s	12.49 q-w
	5	66.67 c-f	10.52 o-s	11.89 q-w
	10	60.00 d-g	7.49 q-s	10.75 q-w
	20	53.33 e-h	7.79 q-s	9.56 r-w
	30	46.67 f-i	2.95 s	4.44 s-w
گندم Wheat	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	60.00 d-g	2.87 s	3.89 t-w
	5	53.33 e-h	2.62 s	3.44 t-w
	10	46.67 f-i	2.28 s	2.82 u-w
	20	40.00 g-i	2.16 s	2.26 u-w
	30	26.67 i	1.32 s	1.13 vw
کلزا Rape	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	33.33 hi	2.26 s	2.34 u-w
	5	0.00 j	0.00 s	0.00 w
	10	0.00 j	0.00 s	0.00 w
	20	0.00 j	0.00 s	0.00 w
	30	0.00 j	0.00 s	0.00 w
جو Barley	0	100.00 a	100.00 a	100.00 a
	2.5	60.00 d-g	2.78 s	2.42 u-w
	5	60.00 d-g	2.53 s	2.32 u-w
	10	53.33 e-h	2.21 s	2.11 u-w
	20	46.67 f-i	1.81 s	1.86 vw
	30	33.33 hi	1.36 s	1.43 vw

*In each column valuse followed by the same letters are not significantly different at 5% probability level.

پس از سه گیاه کلزا، گندم و جو، عدس با ۸۹درصد تلفات ماده خشک ریشه در پایین‌ترین غلظت علف‌کش (۹میکروگرم در خاک) در رتبه بعدی حساسیت به افزایش باقیمانده نیکوسولفورون در خاک قرار داشت. با توجه به نتایج آزمایش، به‌نظر می‌رسد نخود با کمترین (۵۵درصد) تلفات وزن‌خشک ریشه در پایین‌ترین غلظت علف‌کش متحمل‌ترین گیاه به بقایای نیکوسولفورون در خاک باشد (جدول۶). همانطورکه قبلاً اشاره شد، تأثیرپذیری ریشه و ساقه گیاهان در پاسخ به بقایای علف‌کش، متفاوت است و بسته به نوع علف‌کش و گونهٔ زراعی، نتایج مختلفی به‌دست می‌آید. بر این اساس، با توجه به نتایج آزمایش، تأثیرپذیری ریشه لوبیا نسبت به ساقه آن در پاسخ به بقایای نیکوسولفورون در خاک، بیشتر است و در سایر گیاهان، بین پاسخ ریشه و ساقه آنها به بقایای علف‌کش، تفاوتی وجود نداشت (جدول۶). بررسی نتایج حاصل از درصد بقای گیاهان زراعی مذکور در پاسخ به باقیمانده نیکوسولفورون در خاک نیز نشان داد که در پایین‌ترین غلظت علف‌کش (۹میکروگرم در کیلوگرم خاک)، کمترین (۳۳درصد) درصد بقاء، متعلق به کلزا بود و درصد بقای آن پس از غلظت ۹میکروگرم در کیلوگرم خاک، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و به صفر رسید. همچنین، بین سایر گیاهان از نظر درصد بقاء، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول۶). نتایج تجزیه رگرسیون داده‌های حاصل از زیست‌تودهٔ اندام هوایی گیاهان مورد بررسی، نشان داد که لوبیا با بیشترین (۳۴/۶۵میکروگرم در کیلوگرم خاک) و جو با کمترین (۰/۰۰۳میکروگرم در کیلوگرم خاک) مقدار پارامتر ED_{50}، به‌ترتیب متحمل‌ترین و حساس‌ترین گیاهان به بقایای نیکوسولفورون در خاک بودند. حساسیت سایر گیاهان به بقایای نیکوسولفورون در خاک، بر اساس نتایج حاصل از تجزیه رگرسیون داده‌های آزمایش به‌صورت زیر بود (جدول۷):

جو> گندم> کلزا> عدس> نخود> لوبیا

جدول۷- پارامترهای حاصل از برازش داده‌های زیست‌تودهٔ خشک اندام‌های هوایی گیاهان به مدل ۳ و ۴ پارامتری لجستیکی در غلظت‌های مختلف بقایای نیکوسولفورون در خاک

Table 7. Parameters (±SE) estimated by 3 and 4 logistic parameter equations fitted to aboveground biomass in different concentration of nicosulfuron in soil

Crop	Equation	b	C	d	ED_{50} (μ kg^{-1} soil)
Bean	3 parameter	1.07 (0.27)	-	98.82 (8.47)	34.65 (9.060)*
Lentil	3 parameter	19.19 (4.6)	-	100.00 (8.46)	8.13 (3.45)
Pea	3 parameter	1.31 (0.32)	-	100.43 (8.35)	14.42 (3.16)
Barley	3 parameter	0.43 (0.02)	-	99.99 (0.47)	0.003 (0.001)
Rape	3 parameter	2.93 (1.7)	-	100.00 (0.47)	2.5 (1.9)
Wheat	3 parameter	0.45 (0.03)	-	100.00 (0.47)	0.01 (0.006)

(Standard error)*

همان‌طور که اشاره شد، در مطالعات انجام‌شده در مورد حساسیت گیاهان زراعی به بقایای علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره در خاک، بسته به نوع علف‌کش و نوع گیاه، نتایج متناقضی مشاهده شده است. Greenland (2003) گزارش کرد که کاربرد نیکوسولفورون به‌مقدار ۷۰گرم ماده مؤثره در هکتار در کشت ذرت، به کلم و پیاز کشت‌شده در سال بعد، ۲۵ و ۳۵درصد خسارت وارد می‌کند. گزارش شده است که با کاربرد مت‌سولفورون و تریاسولفورون، محصولات در تناوبی مانند کلزا، ذرت، عدس، نخود، سیب‌زمینی و چغندر، حساسیت نشان دادند، اما بر جو، کتان و گندم مؤثر نبود (Moyer, 1995). Hadizadeh (2010) گزارش کرد که سولفوسولفورون بر جوانه‌زنی گیاهان حساس مورد آزمایش تأثیر نداشت، ولی با جلوگیری از رشد گیاهان در طول آزمایش، سبب شد که برخی از بوته‌های سبزشده تا انتهای آزمایش از بین بروند.

به‌طورکلی، بر اساس نتایج این آزمایش، باقیماندهٔ بسیارکم علف‌کش‌های ریم‌سولفورون، فورام‌سولفورون و نیکوسولفورون در خاک، از پتانسیل صدمهٔ زیادی بر محصولات زراعی به‌ویژه حبوباتی از قبیل نخود، لوبیا و عدس که در تناوب با ذرت کشت می‌شوند، برخوردار است. ازاین‌رو، محدودیت در تناوب زراعی می‌تواند از مهم‌ترین مشکلات ناشی از کاربرد این علف‌کش‌ها باشد که نیاز به توجه به این مهم و انجام مطالعات بیشتر مزرعه‌ای و گلخانه‌ای می‌باشد. از طرف دیگر، اگرچه با توجه به نتایج این آزمایش، لوبیا نسبت به سایر گیاهان، حساسیت کمتری نسبت به بقایای علف‌کش‌های مورد مطالعه داشت، بااین‌حال، افزایش باقیماندهٔ علف‌کش‌های مورد مطالعه نیز منجر به خسارت در آن شد. با توجه به این مهم و نظر به این‌که بقای علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره متأثر از عوامل مختلف خاکی به‌ویژه اسیدیته خاک است، به‌نظر می‌رسد حتی کشت لوبیا در خاک‌های قلیایی که بقای علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره در آنها بیشتر است، تحت تأثیر قرار گیرد. ازاین‌رو، نتایج این بررسی ضمن این‌که دلالت بر حساسیت زیاد گیاهان زراعی مختلف و به‌خصوص حبوباتی از جمله نخود، لوبیا و عدس به بقایای علف‌کش‌های سولفونیل‌اوره به‌کاررفته در ذرت را دارد، نشان می‌دهد که علف‌کش‌های مختلف، اثرات متفاوتی را در گیاهان به‌دنبال خواهند داشت و توجه به این مهم می‌تواند در مدیریت کاربرد علف‌کش جهت مصونیت از اثرات منفی باقیمانده آنها بر رشد گیاهان تناوبی، مهم و مورد توجه باشد؛ به‌طوری‌که بر اساس نتایج حاصل از این بررسی نیز ریم‌سولفورون، کمترین اثرات منفی را بر رشد گیاهان مورد مطالعه داشت.

به‌طورکلی، هرچند در این قبیل آزمایش‌ها، انجام آزمایش‌های گلدانی با تیمارهای مختلف در شرایط کنترل‌شده تا حدودی قادر به تفکیک سایر اثرات محیطی و خاکی هستند، اما با توجه به عوامل متعدد دخیل بر ماندگاری و نیمه‌عمر علف‌کش‌ها، لزوم انجام مطالعات تکمیلی به‌خصوص در شرایط واقعی مزرعه در مطالعات آتی پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

بودجه این تحقیق از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

1. Brandenberger, L.P., Shrefler, J.W., Webber, Gh.L., Talbert, R.E., Payton, M.E., Wells, L.K., and McClelland, M. 2007. Injury potential from carryover of watermelon herbicide residues. Weed Technology 21: 473- 476.
2. 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. 3th Iranian Weed Science Congress. 17-18 February, Babolsar, Iran.
3. Greenland, R.G. 2003. Injury to vegetable crops from herbicides applied in previous years. Weed Technology 17: 73- 78.
4. Gunther, P., Pestemer, W., Rahman, A., and Nordmeyer, H. 1993. A bioassay technique to study the leaching behavior of sulfonylurea herbicides in different soils. Weed Reserch 33: 177- 185.
5. Hadizadeh, M.H. 2010. Bioassay study of sulfonylurea herbicide. Plant. 3rd Iranian Weed Science Congress. 17-18 February, Babolsar, Iran.
6. Halloway, K.I., Kookana, R.S.D., Noy, M., Smith, J.G., and Wilhelm, N. 2006. Crop damage caused by residual acetolactate synthase herbicides in the soils of south-eastern Australia. Australia Journal of Experimental Agricalture 46: 1323-1331.
7. Johnson, D.H., Jordan, D.L., Johnson, W.G., Talbert, R.E., and Frans, R.E. 1993. Nicosulfuron, primisulfuron, imazethapyr, and DPX-PE350 injury to succeeding crops. Weed Technology 7: 641-644.
8. Kelley, J.P., and Peeper, T.F. 2003. Wheat (*Triticum aestivum*) and rotational crop response to MON 37500. Weed Technology 17: 55-59.
9. Mansoori, S., Zand, E., Baghestani-Maybodi, M.A., and Tavakoli, M. 2008. Effect of sulfonylurea herbicides on yield and component of yield of canola (*Brassica naps*). Iranian Journal of Weed Science 4: 83-85. (In Persian with English Summary).
10. Minton, B.W., Matocha, M.A., and Senseman, S.A. 2008. Rotational crops response to soil applied trifloxysulfuron. Weed Technology 22: 425- 430.
11. Moyer, J.R. 1995. Sulfonylurea herbicide effects on following crops. Weed Technology 9: 373-379.
12. Moyer, J.R., and Hamman, W.M. 2001. Factors affecting the toxicity of MON 37500 residues to following crops. Weed Technology 15: 42- 47.
13. Osten, V.A., and Walker, S.R. 1998. Recording interval for sulfonylurea are short semiarid subtropics of Australia. Australia Journal of Experimental Agricalture 38: 71-76.
14. Porterfield, D., and Wilcut, J.W. 2003. Peanut (*Arachis hypogaea* L.) response to residual and in season treatment of CGA- 362622. Weed Technology 17: 441- 445.
15. Rajvir, Sh., Pahuja, S.S., Balyan, R.S., and Malik, R.K. 2002. Effect of Sulfonylurea herbicides applied alone and tank mix with metribuzin on weeds in wheat and their residual effect on succeeding crop of sorghum. Indian Journal of Weed Science 34: 253- 281.
16. Robinson, D.E., Soltani, N., and Sikkema, P.H. 2006. Response of four market classes of dry bean (*Phaseolus vulgaris*) to foramsulfuron, isoxaflutole and isoxaflutole plus atrazine applied in previous years. Weed Technology 20: 558- 563.
17. 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. Journal of Environmetal Science and Health 41: 781-793.
18. Secor, J. 1994. Inhibition of barnyardgrass 4- hydroxyphenylpyruvate dioxygenase by sulcotrion. Plant Physiology 106: 1429-1433.
19. Seifert, S., Shaw, D. R., Kingery, W.L., Snipes, C.E., and Wesley, R.A. 2001. Imazaquin mobility and persistence in a Sharkey clay soil as influenced by tillage systems. Weed Science 49: 571- 577.
20. Shin, S.L., Thill, D.C., Price, W.J., and Ball, D.A. 1998. Response of downy brome (*Bromus tectorum*) and ratational crops to MON-37500. Weed Technology 12: 690-698.
21. Szmigielski, A.M., Schoenau, J.J., Lervine, A., and Schilling, B. 2010. Evaluation mustard root length boiassay for prediting crop injury from soil residual flucarbazone. Communic. In: Soil Science and Plant Anal. 39: 413-420.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 4, No. 2, 2013, p. 121-132

Evaluation of foramsulforun, rimsulforun and nicosulforun soil residual effect on some pulses under greenhouse conditions

Izadi-Darbandi[1*], E. & Azad[2], M.

1 & 2. Associate Professor and Graduated in Weed Science, respectively
Faculty of Agriculture, Department of Agronomy and Plant Breeding, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

Received: 12 June 2012
Accepted: 26 November 2013

Abstract

In order to evaluate of pea, bean, lentil, wheat, rape and barley sensitivity to foramsulforun, rimsulforun and nicosulforun herbicides soil residue, a pot experiment was conducted at Ferdowsi University of Mashhad. Experimental type was completely randomized design in factorial arrangement with three replications. Treatments included herbicides (rimsulforun, foramsulforun and nicosulforun), herbicide simulated concentration residue in soil (0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.9 and 1.3 µg kg^{-1} soil for rimsulforun; 0, 10, 20, 40, 80 and 120 µg kg^{-1} soil for foramsulforun and 0, 9, 18, 36, 72 and 108 µg kg^{-1} soil for nicosulforun, that are 0, 2.5, 5, 10, 20 and 30 % recommended dose for each herbicides, respectively) and crops (pea, bean, lentil, wheat, rape and barley). For analysis of results plants survival percentage, shoot and root biomass measured 30 days after emergence. Results showed that crop survival percentage, shoot and root biomass affected with foramsulforun, rimsulforun and nicosulforun soil residual, significantly. Increasing foramsulforun and nicosulforun soil residue decreased mentioned parameters in all crops, significantly. Increasing rimsulforun soil residue decreased mentioned parameters, significantly just in rape. Based on ED_{50} parameter, bean (99.05 and 34.65 µg kg^{-1} soil in foramsulforun and nicosulforun, respectively) and barley (0.07 and 0.003 µg kg^{-1} soil in foramsulforun and nicosulforun, respectively) appeared to be the most tolerant and susceptible crops to foramsulforun and nicosulforun soil residual. Based on ED_{50} parameter, barley (216.02 µg kg^{-1} soil) and rape (2.29 µg kg^{-1} soil) appeared to be the most tolerant and susceptible crops to rimsulforun soil residual, respectively.

Key words: Crop rotation, Herbicide residue, Sulfonylurea herbicides

* **Corresponding Author:** e-izadi@um.ac.ir, Mobile: 09153216237