نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۴، ص. ۲۹۷-۲۸۷

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 2, Summer. 2015, p. 287-297

اثر باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک بر رشد، گره‌زایی و تثبیت نیتروژن در نخود

زهرا سلیمانپور نقیبی[۱]- ابراهیم ایزدی دربندی[۲*]- مهدی راستگو[۲]- مهدی پارسا[۲]- احمد اصغرزاده[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۲۹

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک بر رشد، گره‌زایی و تثبیت بیولوژیک ژنوتیپ‌های نخود، مطالعات گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، در سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و در طی دو آزمایش انجام شد. عوامل مورد بررسی در آزمایش اول شامل باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک در ۸ سطح (صفر ، ۰/۳۰۷ ، ۰/۷۶۹ ، ۱/۵۳، ۳/۰۷ ، ۴/۶ ، ۶/۱۴ و ۹/۲۱ میکروگرم در کیلوگرم خاک) و ژنوتیپ‌های نخود در ۴ سطح (هاشم، آی ال سی ۴۸۲، کاکا و کرمانشاهی) بودند. پس از بررسی داده‌های آزمایش اول و مشاهده عدم سبز شدن ژنوتیپ‌های نخود، در سطوح باقیمانده علف‌کش تجدید نظر و در آزمایشی دیگر، اثر ۵ سطح (۰، ۰/۰۱۵۳، ۰/۰۳۰۷، ۰/۰۷۶ و ۰/۱۵۳ میکروگرم در کیلوگرم خاک) از باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون بر چهار ژنوتیپ مذکور نخود مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدای مرحله زایشی گیاهان، زیست توده اندام هوایی، ریشه، تعداد و زیست توده گره و همچنین مقدار نیتروژن کل آنها اندازه‌گیری شد. براساس نتایج این آزمایش، باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک به‌طور معنی‌داری منجر به کاهش تمام صفات مورد بررسی در نخود گردید. براساس شاخص ED_{50}، در بین ژنوتیپ‌های نخود، هاشم متحمل‌ترین ژنوتیپ به لحاظ تولید زیست توده اندام هوایی و ریشه بود در حالی‌که زیست توده اندام هوایی ژنوتیپ آی ال سی ۴۸۲ و ریشه کرمانشاهی حساسیت زیادی به باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: بقایای علف‌کش در خاک، ژنوتیپ آی ال سی ۴۸۲، ژنوتیپ کاکا، ژنوتیپ کرمانشاهی، ژنوتیپ هاشم

مقدمه

علف‌کش نیکوسولفورون یکی از چهار علف‌کش گروه سولفونیل اوره به ثبت رسیده برای کنترل علف‌های هرز پهن برگ و باریک برگ در مزارع ذرت ایران می‌باشد. مقدار کاربرد این علف‌کش در مزارع، ۸۰ گرم ماده مؤثره در هکتار و به‌صورت پس‌رویشی می‌باشد (۲). این علف‌کش از بازدارندگان عمل آنزیم استولاکتات سینتاز (آنزیمی کلیدی در سنتز اسیدهای آمینه زنجیره‌ای والین، لوسین و ایزولوسین) به‌شمار می‌رود (۱۸). بسته به شرایط، ماندگاری متفاوتی در خاک دارد. براساس مطالعات انجام شده، کاربرد این علف‌کش حتی در مقادیر کمتر از مقدار توصیه شده، می‌تواند بیش از یک فصل زراعی در خاک ماندگار شود (۱۷). لذا ممکن است به محصولات موجود در تناوب آسیب برساند. در این راستا گزارش شده است که مقدار ۰/۰۱ میلی‌گرم ماده مؤثره در کیلوگرم خاک از باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون، به شدت رشد گیاهان خردل و یولاف را کاهش داده است (۱۷). میزان ماندگاری این علف‌کش با توجه به نوع تجزیه، اسیدیته خاک، میزان ماده آلی و بافت خاک متفاوت است (۹). گزارش شده است (۱۰) که در اثر فرایند هیدرولیز در اسیدیته (pH) ۵، نیمه عمر آن ۱۵ روز بوده است. براساس مطالعات موجود، این علف‌کش دارای تجزیه نوری بسیار کمی است؛ به‌طوری‌که نیمه عمر حاصل از تجزیه نوری آن در اسیدیته ۵، ۱۴ تا ۱۹ روز، در اسیدیته ۷، ۱۹۰ تا ۲۵۰ روز و در اسیدیته ۹، ۲۰۰ تا ۱۸۰ روز می‌باشد (۱۰). در گزارش دیگری، علف‌کش نیکوسولفورون جزو علف‌کش‌هایی با ماندگاری کم تا متوسط (نیمه عمر ۴۶/۳-۷ روز) طبقه‌بندی شده است. در گزارش مذکور، نشان داده شد که متابولیت‌های حاصل از تجزیه این علف‌کش نیز در خاکی با اسیدیته ۷/۳-۶، میزان رس ۱/۱-۹/۳ درصد و میزان ماده آلی ۰/۹۸ تا ۲/۲۲درصد، ماندگاری کم تا طولانی در خاک داشته‌اند (۹). با توجه به اینکه علف‌کش‌های گروه سولفونیل اوره از فعالیت خاکی بالایی برخوردار هستند، لذا این احتمال

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email: e-izadi@um.ac.ir
۳- استادیار مؤسسه آب و خاک

وجود دارد که در محصولات تناوبی باعث گیاه‌سوزی و بد سبزی شوند. با توجه به این که اطلاعات بسیار کمی از اثرات باقیمانده این علف‌کش بر روی گیاهان موجود در تناوب وجود دارد، از این‌رو به نظر می‌رسد بررسی احتمال اثرات منفی ناشی از باقیمانده این علف کش بر گیاهان تناوبی مهم باشد. در بین گیاهان زراعی موجود در ایران، نخود (*Cicer arietinum* L.) از مهمترین محصولاتی است که در تناوب با محصولاتی که توسط علف‌کش نیکوسولفورون تیمار می‌شوند، قرار می‌گیرد (۱). ویژگی‌های مطلوبی ازجمله بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، اختلال در چرخه زندگی آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز و به‌خصوص توانایی تثبیت نیتروژن در نخود باعث شده است که این گیاه جایگاه ویژه‌ای را در تناوب گیاهان زراعی دارا باشد (۶). گزارش شده است که علف‌کش‌ها و بقایای آنها در خاک می‌توانند رشد رایزوبیا (۵ و ۱۹)، بقاء رایزوبیا (۲۵ و ۲۶)، توانایی رایزوبیا در تشخیص گیاه میزبان (۱۱ و ۱۲)، تشکیل گره و تغییر شکل شدن تارهای کشنده ریشه (۲۵ و ۲۶) و فعالیت آنزیم نیتروژناز (۵ و ۲۰) را در یک رابطه همزیستی بین لگوم- رایزوبیوم تحت تأثیر قرار دهند. کاهش رشد گیاه و فراهمی مواد فتوسنتزی برای گره، کاهش رشد ریشه و در نتیجه کاهش مکان‌های آلوده‌سازی ریشه نیز در اثر کاربرد علف‌کش‌ها بر روی گره‌زایی و تثبیت بیولوژیک نیتروژن در حبوبات گزارش شده است (۳، ۲۵، ۲۶، ۲۷ و ۳۱). در مطالعه روگرز و بالدوک (۲۳) مشاهده شد که بقایای علف‌کش‌های کلروسولفورون، فلومتسولام و ایمازتاپیر در خاک، وزن خشک اندام هوایی، گره‌زایی و میزان تثبیت نیتروژن را در مرحله بلوغ گیاه نخود، کاهش داده است. در پژوهش دیگری (۷) نیز گزارش شده است که کاربرد مقدار توصیه شده علف‌کش ایزوکسافلوتول رشد گیاه، زیست توده ریشه و ساقه واریته حساس به علف‌کش نخود را به‌ترتیب ۲۹، ۵۰ و ۲۲ درصد کاهش داده است. همچنین کاهش ۲۱ و ۵۱ درصدی نیز به‌ترتیب در مقدار نیتروژن کل و ظرفیت تثبیت نیتروژن واریته حساس نخود مشاهده شد. براساس مطالعه مذکور، گره‌زایی (تعداد و زیست‌توده گره) واریته حساس نخود به علف‌کش بیش از واریته مقاوم تحت تأثیر منفی کاربرد علف‌کش مذکور قرار گرفت (۷). از سوی دیگر برخی از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که علف‌کش نیکوسولفورون در خاک می‌تواند فراوانی باکتری‌های هوازی تثبیت‌کننده نیتروژن در خاک را کاهش دهد (۸ و ۲۸). گرچه علف‌کش‌های گروه سولفونیل اوره به‌طور گسترده برای کنترل علف‌های هرز در ایران مورد مصرف قرار می‌گیرند، اما اطلاعات موجود درباره زیست ماندگاری خاکی علف‌کش نیکوسولفورون بسیار کم و آن هم محدود به گیاهان غیر لگوم می‌شود و تاکنون هیچ‌گونه اطلاعاتی مربوط به زیست ماندگاری علف‌کش نیکوسولفورون بر گیاهان لگوم به‌ویژه نخود نه تنها در ایران بلکه در دیگر کشورهایی که این علف‌کش را مورد مصرف قرار می‌دهند، وجود ندارد. لذا این آزمایش با هدف بررسی پاسخ رشد، گره‌زایی و تثبیت بیولوژیک ژنوتیپ‌های نخود به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک، در شرایط کنترل شده انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی حساسیت چهار ژنوتیپ نخود به بقایای شبیه‌سازی شده نیکوسولفورون در خاک، در بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، در سه تکرار و طی دو آزمایش جداگانه انجام شد. عوامل مورد بررسی در آزمایش اول، شامل بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک در ۸ سطح (صفر، ۰/۳۰۷، ۰/۷۶۹، ۰/۱۵۳، ۳/۰۷، ۴/۶، ۶/۱۴ و ۹/۲۱ میکروگرم ماده مؤثره علف‌کش در کیلوگرم خاک) که به‌ترتیب شامل ۰، ۱، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد از مقدار توصیه شده علف‌کش) و ژنوتیپ‌های نخود در چهار سطح (هاشم، آی ال سی ۴۸۲، کاکا و توده بومی کرمانشاهی) بودند که بذور مذکور از بانک بذر پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شدند. برای این منظور از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری مزرعه‌ای که حداقل به مدت ۵ سال سابقه کاربرد هیچ نوع آفت‌کشی را نداشته بود نمونه خاکی تهیه شد. سپس با در نظر گرفتن خلوص علف‌کش در فرمولاسیون تجاری آن (سوسپانسیون ۴٪)، مقدار کاربرد علف‌کش (۸۰ گرم ماده مؤثره در هکتار) و چگالی خاک در عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متر (۱/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب)، غلظت اولیه علف‌کش در خاک در زمان کاربرد آن بر حسب میکروگرم در کیلوگرم خاک محاسبه شد. با فرض اینکه علف‌کش در طول فصل پس از ورود به خاک دچار تجزیه خواهد شد و به سطوح مورد نظر در این آزمایش (۱، ۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درصد مقدار اولیه آن در خاک در لحظه کاربرد آن) خواهد رسید، با لحاظ خلوص فرمولاسیون تجاری علف‌کش، معادل آن از ماده تجاری برداشته و در ۵۰ سی سی آب حل گردید. به‌منظور اختلاط کامل علف‌کش با خاک پس از محاسبه وزن خاک خشک در هر گلدان با قطر دهانه ۱۵ سانتی‌متر، به مقدار گلدان‌های مربوط به هر غلظت (با در نظر گرفتن سه تکرار برای هر غلظت و چهار ژنوتیپ، ۱۲ گلدان)، خاک مورد نظر تهیه (حدود ۱۵ کیلوگرم) و برای سهولت در اختلاط و اطمینان از یکنواختی اختلاط علف‌کش، ابتدا یک کیلوگرم از خاک مذکور آماده شد، سپس ۵۰ میلی‌لیتر از هر یک از محلول‌های تهیه شده برای هر غلظت علف‌کش به‌طور یکنواخت روی خاک مذکور ریخته و پس از تبخیر آب، کاملاً با خاک مخلوط شد. نمونه یک کیلوگرمی خاک مخلوط شده برای هر غلظت علف‌کش سپس با سایر خاک‌های مربوط به هر تیمار مجدداً به‌طور کامل و یکنواخت مخلوط شد. پس از اختلاط و آماده‌سازی خاک‌های آلوده شده با علف کش نیکوسولفورون، به گلدان‌ها منتقل و بذور گیاهان نخود پس از تلقیح با باکتری

مزورایزوبیوم، به تعداد ۸ عدد در هر گلدان و در عمق مناسب در تاریخ ۹۱/۳/۳ کشت شدند. برای ممانعت از آبشویی علف کش، گلدان‌ها به‌طور یکنواخت در حدی آبیاری شدند که فاضلاب خروجی نداشته باشد. برای این منظور زیر گلدانی نیز در زیر تمام گلدان‌ها گذاشته شد. میانگین دمای شبانه و روزانه گلخانه در طی دوره رشد گیاهان، به‌ترتیب ۲۱ و ۲۶ درجه سانتی‌گراد بود. در مرحله ۲ تا ۳ برگی نخود گیاهان تنک و تراکم آنها به سه بوته در هر گلدان تنظیم شد. در ابتدای مرحله زایشی (۱۰ الی ۲۰ درصد گلدهی، ۴۷ روز پس از کاشت)، گیاهان مورد نظر در هر گلدان را از محل طوقه برداشت و پس از خاک‌شویی ریشه، تعداد گره و وزن تر گره اندازه‌گیری شدند. سپس ریشه و اندام هوایی به آزمایشگاه منتقل و به مدت ۴۸ ساعت در آون و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند (۷). سپس وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه با ترازوی دیجیتال هزارم توزین شد. پس از بررسی داده‌های آزمایش اول و مشاهده عدم سبز شدن ژنوتیپ‌های نخود، در بررسی اثرات مربوط به عامل مقدار باقیمانده علف‌کش در خاک تجدید نظر و در آزمایش دوم، ۵ سطح از باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون (۰، ۰/۰۱۵۳، ۰/۰۳۰۷، ۰/۰۷۶۷ و ۰/۱۵۳ میکروگرم در کیلوگرم خاک که به‌ترتیب شامل ۰، ۰/۰۵، ۰/۱، ۰/۲۵ و ۰/۵ درصد مقدار توصیه شده علف‌کش نیکوسولفوورن بودند)، مورد مطالعه قرار گرفت. اختلاط علف‌کش با خاک در این آزمایش مشابه آزمایش اول بود. پس از کاشت گیاهان (در تاریخ ۹۱/۳/۲۸) و نگهداری آنان تا ابتدای مرحله زایشی، گیاهان برداشت (۵۰ روز پس از کاشت) و وزن خشک اندام هوایی، ریشه، گره و تعداد گره آنان تعیین شد (مشابه آزمایش اول). نیتروژن کل گیاه نیز به روش کجلدال اندازه‌گیری شد (۱۶). داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش، پس از تبدیل به درصد تغییرات نسبت به شاهد، با استفاده از نرم افزار SAS تجزیه واریانس شده و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵ درصد انجام شد. برای رسم برخی از شکل‌ها نیز از نرم افزار Excel استفاده شد. تجزیه رگرسیون داده‌های حاصل با استفاده از نرم افزار R و از برازش معادله سیگموئیدی چهار پارامتری به زیست توده تولید شده گیاهان استفاده شد و غلظت لازم برای ۵۰ درصد بازدارندگی زیست توده اندام هوایی، ریشه و گره نخود (ED_{50}) محاسبه و در تحلیل نتایج آزمایش به‌کار گرفته شدند (۲۹). (رابطه ۱)

$$f(b,c,d,e) = c + \frac{d-c}{1+exp\{b(log(x)-log(e)\}} \quad (۱)$$

در این معادله b شیب منحنی، c حد پایین منحنی (پاسخ وقتی که بیشترین مقدار علف‌کش استفاده شد)، e غلظتی از علف‌کش که سبب ۵۰ درصد کاهش در مقدار پاسخ می‌شود و d حد بالای منحنی (پاسخ وقتی که میزان کاربرد علف‌کش صفر است). لازم به ذکر است زمانی‌که در معادله فوق اثر پارامتر c معنی‌دار نبود با حذف آن، از معادله سه پارامتری برای برازش داده‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

سطوح مورد مطالعه باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک، در آزمایش اول باعث از بین رفتن ژنوتیپ‌های مورد بررسی نخود شد. به‌طوری‌که در طی این آزمایش، داده‌ای برای آنالیز واریانس و بیان نتایج وجود نداشت. لذا تحلیل و ارائه نتایج آزمایش به داده‌های آزمایش دوم اختصاص دارد. براساس نتایج حاصل از آزمایش، همه صفات مورد بررسی (زیست‌توده اندام هوایی، ریشه، گره، تعداد گره و میزان نیتروژن کل گیاه) در همه ژنوتیپ‌های نخود، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک قرار گرفتند (جدول ۱).

باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) زیست توده اندام هوایی و ریشه همه ژنوتیپ‌های نخود را کاهش داد (شکل‌های ۱، ۲ و ۳).

جدول ۱- میانگین مربعات (MS) مربوط به درصد تغییرات نسبت به شاهد زیست توده اندام‌های هوایی، کل ریشه، گره، تعداد گره و مقدار نیتروژن کل گیاه در ژنوتیپ‌های نخود

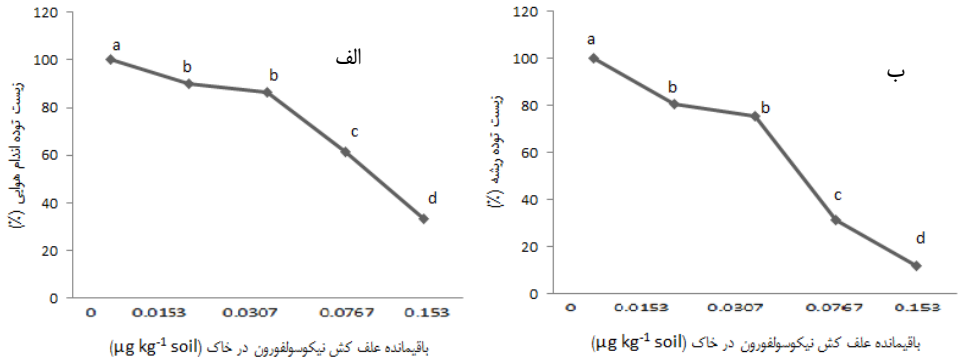
منابع تغییرات	درجه آزادی	زیست توده اندام‌های هوایی	زیست توده ریشه	زیست توده گره	تعداد گره	مقدار نیتروژن کل گیاه
ژنوتیپ	۳	۴۴۱/۵۱**	۱۶۱۷/۶۷**	۲۰۵۱/۳۰**	۱۳۶۴/۸۶**	۸۶۰/۶۶*
باقیمانده علف‌کش	۴	۸۶۸۷/۱۵**	۱۶۲۴۱/۳۶**	۱۸۱۱۸/۶۸**	۱۵۲۸۱/۷۰**	۱۳۶۰۵/۲۵**
ژنوتیپ × باقیمانده علف‌کش	۱۲	۱۵۴/۷۱^{ns}	۳۶۲/۵۸**	۵۰۰/۴۶**	۶۵۱/۴۵**	۷۲۴/۴۹**
خطا	۴۰	۱۱۶/۱۳	۱۱۶/۳۹	۷۷/۶۷	۲۱۸/۵۴	۲۶۵/۲۸
ضریب تغییرات		۱۴/۵۲	۱۷/۹۸	۱۹/۶۷	۲۸/۵۶	۱۹/۹۶

**: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد *: معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد ^{ns}: عدم معنی‌داری

بر این اساس، مقادیر ۰/۰۱۵۳ و ۰/۰۳۰۷ میکروگرم در کیلوگرم خاک از باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون، کمترین تأثیر منفی را بر روی زیست توده اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان نخود داشته است. تفاوت معنی‌داری بین دو مقدار مذکور مشاهده نشد (شکل ۱). نتایج در این آزمایش نشان داد که مقدار ۰/۱۵۳ میکروگرم در کیلوگرم خاک از باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون بیشترین تأثیر منفی را بر صفات مذکور داشته است؛ به‌طوری‌که مقدار مذکور از باقیمانده علف‌کش، زیست توده اندام هوایی و ریشه گیاهان نخود را به‌ترتیب ۶۶/۵۹ و ۸۷/۰۷ درصد کاهش داد (شکل ۱). اثر متقابل باقیمانده علف‌کش – ژنوتیپ بر زیست توده ریشه گیاهان نخود معنی‌دار ($p \leq 0.01$) بود (جدول ۱). با افزایش باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک، اثر منفی آن بر زیست توده ریشه همه ژنوتیپ‌های نخود بیشتر شد؛ با این حال در ژنوتیپ آی ال سی ۴۸۲ زیست توده ریشه، در سطوح کم بقایای علف‌کش بدون اختلاف معنی‌داری با تیمار شاهد افزایش داشت. بر این اساس، بیشترین مقدار زیست توده ریشه مربوط به تیمارهای ۰/۰۱۵۳ و ۰/۰۳۰۷ میکروگرم در کیلوگرم خاک از باقیمانده علف‌کش و در ژنوتیپ آی ال سی۴۸۲ مشاهده شد. براساس نتایج آزمایش هرچند بین ژنوتیپ‌های نخود، تفاوت معنی‌داری در پاسخ زیست توده ریشه آنها به مقدار ۰/۱۵۳ میکروگرم ماده مؤثره نیکوسولفورون در کیلوگرم خاک مشاهده نشد؛ با این وجود، کمترین زیست توده ریشه در ژنوتیپ کاکا و در پاسخ به مقدار مذکور از باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون مشاهده شد (جدول ۲).

زیست توده ریشه و اندام هوایی همه ژنوتیپ‌های نخود نیز به‌طور معنی داری تحت تأثیر مقادیر مختلف باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک کاهش یافت (جدول ۲ و شکل‌های ۱، ۲ و ۳). به‌نظر می‌رسد کاهش رشد، در نتیجه مقادیر باقیمانده علف‌کش می‌تواند؛ به‌دلیل تأثیر بازدارندگی غیر مستقیم این علف‌کش‌ها بر فتوسنتز و فرآیند تقسیم سلولی (۳۰) یا اثر مستقیم بر سنتز آمینواسیدها باشد (۲۴). در برخی از پژوهش‌ها کاهش در زیست توده اندام‌های هوایی و ریشه گیاهان در نتیجه تأثیر باقیمانده علف‌کش‌های سولفونیل اوره در خاک گزارش گردیده است (۴، ۱۴، ۲۲ و ۲۳). گزارش شده است که بقایای علف‌کش فلوکاربازون سدیم در خاک، زیست توده اندام‌های هوایی و زمینی نخود فرنگی (*Pisum sativum*) را کاهش داده است (۲۲).

در مطالعات مربوط به آزمایشات زیست سنجی بقایای علف‌کش‌ها، شاخص‌های ED_{10}، ED_{30} و به‌ویژه ED_{50} برای زیست‌توده اندام هوایی گیاه، از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی حساسیت گیاهان به بقایای علف‌کش و طبقه‌بندی آنها بر این اساس می‌باشد (۱۵ و ۲۹). از برازش زیست توده اندام‌های هوایی ژنوتیپ‌های مختلف نخود به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون، توسط معادله ۳ و ۴ پارامتری سیگموئیدی، بیشترین و کمترین شاخص ED_{50} به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های هاشم (۰/۱۱۸ میکروگرم در کیلوگرم خاک) و آی ال سی ۴۸۲ (۰/۰۷۳میکروگرم در کیلوگرم خاک) بود (جدول۳). بر این اساس و با توجه به نتایج حاصل، به نظر می‌رسد که در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود، هاشم متحمل‌ترین و آی ال سی ۴۸۲ حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون باشند. به‌طور کلی براساس نتایج حاصل ژنوتیپ‌های نخود مورد مطالعه در این آزمایش از نظر تحمل به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک به‌ترتیب شامل هاشم، کاکا، کرمانشاهی و آی ال سی ۴۸۲ بودند.



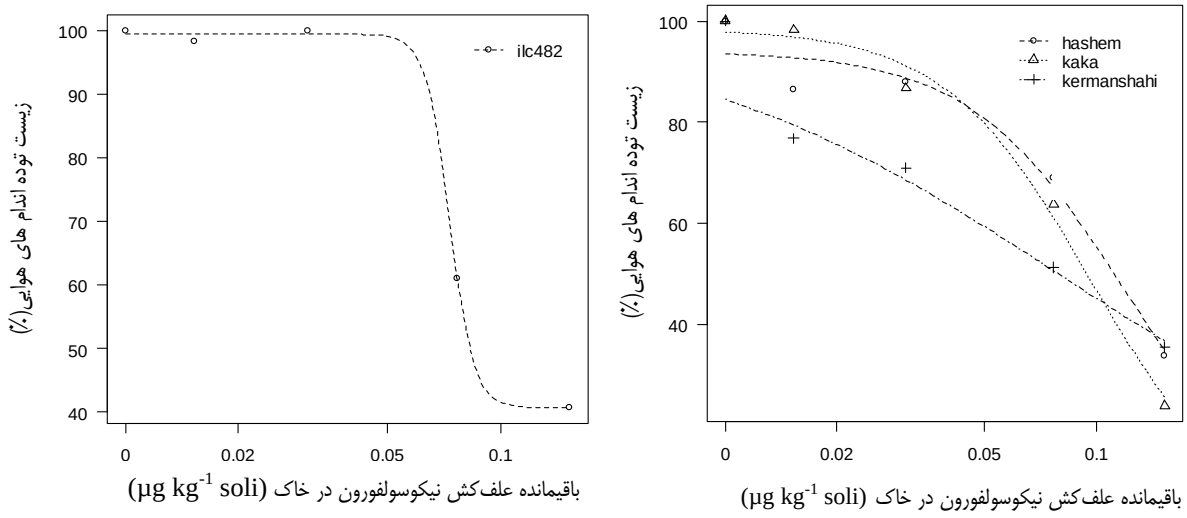
شکل ۱- اثر باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک بر زیست توده‌های اندام‌های هوایی (الف) و ریشه (ب) ژنوتیپ‌های نخود

میانگین‌هایی با یک حرف مشابه در هر شکل، از نظر آماری در سطح ۵ درصد، با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

جدول ۲- مقایسات میانگین درصد زیست توده ریشه، تعداد گره، زیست توده گره و مقدار نیتروژن کل سطوح مختلف از باقیمانده علف‌کش‌های نیکوسولفوورن در خاک نسبت به شاهد بدون کاربرد علف‌کش هر یک از ژنوتیپ‌های مختلف نخود

ژنوتیپ	باقیمانده علف‌کش ($\mu g\ kg^{-1}$ soil)	زیست توده ریشه ($g\ plant^{-1}$)	تعداد گره (per pelant)	زیست توده گره ($g\ plant^{-1}$)	نیتروژن کل ($mg\ plant^{-1}$)
	۰	۱۰۰/۰۰^{ab} (۰/۶۸)	۱۰۰.۰۰^{a} (۲۵/۱۱)	۱۰۰/۰۰^{a} (۰/۳۰)	۱۰۰/۰۰$^{b-d}$ (۲۲/۱۳)
	۰/۰۱۵۳	۸۲/۱۸^{cd} (۰/۵۵)	۹۵/۱۷^{a} (۲۲/۵۱)	۸۰/۳۰^{b} (۰/۲۴)	۸۷/۴۲^{de} (۱۹/۲۰)
هاشم	۰/۰۳۰۷	۸۴/۹۲^{bc} (۰/۵۷)	۵۷/۱۰^{cd} (۱۳/۲۹)	۶۲/۳۰^{bc} (۰/۱۸)	۱۳۷/۵۸^{a} (۲۹/۹۷)
	۰/۰۷۶۷	۴۲/۲۲f^{-h} (۰/۲۹)	۲۳/۶۱$^{e-g}$ (۶/۱۱)	۱۶/۶۷$^{e-g}$ (۰/۰۵)	۹۸/۶۶$^{b-d}$ (۲۱/۸۱)
	۰/۱۵۳	۱۰/۸۲^{j} (۰/۰۷)	۱۵/۳۶^{fg} (۴/۰۰)	۷/۴۶^{gh} (۰/۰۲)	۳۸/۰۵^{f} (۸/۱۱)
	۰	۱۰۰/۰۰^{ab} (۰/۶۲)	۱۰۰/۰۰^{a} (۳۹/۹۲)	۱۰۰/۰۰^{a} (۰/۵۹)	۱۰۰/۰۰$^{b-d}$ (۲۶/۰۱)
	۰/۰۱۵۳	۱۰۲/۸۱^{a} (۰/۶۳)	۶۵/۴۷^{bc} (۲۵/۹۹)	۷۰/۶۵^{bc} (۰/۴۲)	۸۹/۱۵^{cd} (۲۲/۵۴)
آی ال سی ۴۸۲	۰/۰۳۰۷	۱۰۳/۶۳^{a} (۰/۶۴)	۸۶/۸۱^{ab} (۳۴/۳۷)	۷۳/۴۸^{bc} (۰/۴۳)	۱۱۸/۰۸^{ab} (۳۰/۱۵)
	۰/۰۷۶۷	۳۶/۱۵$^{g-i}$ (۰/۲۲)	۳۵/۰۸$^{d-f}$ (۱۴/۰۱)	۲۴/۲۹$^{d-f}$ (۰/۱۴)	۵۹/۵۴^{f} (۱۵/۱۷)
	۰/۱۵۳	۱۶/۷۱^{j} (۰/۱۰)	۱۴/۸۱^{fg} (۶/۳۳)	۷/۴۰^{gh} (۰/۰۴)	۴۰/۲۰^{f} (۱۰/۴۱)
	۰	۱۰۰/۰۰^{ab} (۰/۲۲)	۱۰۰/۰۰^{a} (۱۸/۸۸)	۱۰۰/۰۰^{a} (۰/۱۷)	۱۰۰/۰۰$^{b-d}$ (۱۱/۳۱)
	۰/۰۱۵۳	۸۲/۵۰$^{b-d}$ (۰/۱۸)	۸۰/۱۱$^{a-c}$ (۱۴/۷۷)	۶۶/۳۰^{bc} (۰/۱۱)	۱۱۵/۴۳$^{a-c}$ (۱۳/۰۱)
کاکا	۰/۰۳۰۷	۶۴/۷۷^{de} (۰/۱۴)	۴۱/۰۳^{de} (۷/۱۱)	۳۰/۸۰^{de} (۰/۰۴)	۱۰۵/۸۴$^{b-d}$ (۱۱/۸۸)
	۰/۰۷۶۷	۲۵/۸۶$^{h-j}$ (۰/۰۵)	۲۱/۷۹$^{e-g}$ (۴/۰۰)	۴/۵۸^{gh} (۰/۰۰۷)	۶۱/۰۹^{ef} (۶/۸۵)
	۰/۱۵۳	۹/۳۱^{j} (۰/۰۲)	۰/۰۰^{g} (۰/۰۰)	۰/۰۰^{h} (۰/۰۰)	۰/۰۰^{g} (۰/۰۰)
	۰	۱۰۰/۰۰^{ab} (۰/۷۱)	۱۰۰/۰۰^{a} (۶۷/۳۳)	۱۰۰/۰۰^{a} (۰/۵۶)	۱۰۰/۰۰$^{b-d}$ (۲۷/۷۸)
	۰/۰۱۵۳	۵۶/۰۸^{ef} (۰/۳۹)	۴۰/۹۸^{de} (۲۷/۶۶)	۳۳/۶۶^{d} (۰/۱۸)	۸۹/۰۶^{cd} (۲۴/۵۵)
کرمانشاهی	۰/۰۳۰۷	۴۹/۶۳$^{e-g}$ (۰/۳۴)	۲۸/۵۷^{ef} (۱۹/۳۳)	۱۰/۴۴$^{f-h}$ (۰/۰۵)	۹۵/۸۷$^{b-d}$ (۲۶/۴۹)
	۰/۰۷۶۷	۲۱/۳۱^{ij} (۰/۱۵)	۱۱/۴۸^{fg} (۷/۷۷)	۴/۷۷^{gh} (۰/۰۲)	۵۸/۶۹^{f} (۱۶/۴۴)
	۰/۱۵۳	۱۰/۸۶^{j} (۰/۰۷)	۱۷/۴۵$^{e-g}$ (۱۱/۸۳)	۲/۶۹^{gh} (۰/۰۱)	۳۶/۸۳^{f} (۱۰/۲۶)

اعداد داخل پرانتز مقادیر واقعی داده می‌باشد. و در هر ستون داده‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند براساس آزمون LSD در سطح ۵ درصد فاقد اختلاف معنی‌دار هستند.



شکل ۲- پاسخ زیست توده ژنوتیپ‌های آی ال سی ۴۸۲ (الف) و هاشم، کاکا و کرمانشاهی نخود به باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک

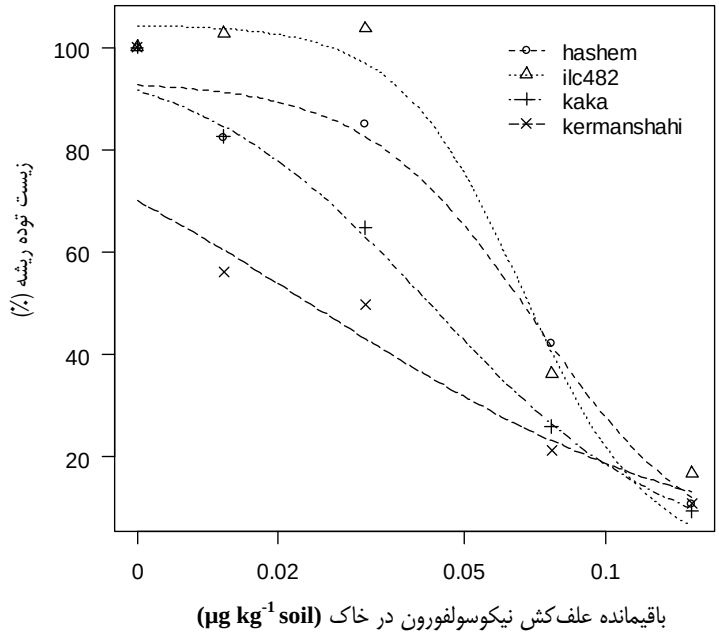
جدول ۳- پارامترهای حاصل از برازش داده‌های زیست توده اندام‌های هوایی ژنوتیپ‌های نخود به معادله سه و چهار پارامتری سیگموئیدی لجستکی در علف‌کش نیکوسولفورون

ژنوتیپ	معادله	b	c	d	ED_{50}(µg kg^{-1} soil)
هاشم	سیگموئیدی ۳ پارامتری	۲/۰۸ (۰/۵۵)	–	۹۴/۰۲ (۳/۶۸)	۰/۱۱۸ (۰/۰۱)
آی ال سی ۴۸۲	سیگموئیدی ۴ پارامتری	۱۳/۴۱ (۱۵/۳۴)	۴۰/۶۱ (۱/۳۶)	۹۹/۳۹ (۲/۳۱)	۰/۰۷۳ (۰/۰۰۴)
کاکا	سیگموئیدی ۳ پارامتری	۲/۲۲ (۰/۴۶)	–	۹۸/۴۷ (۳/۶۴)	۰/ ۰۹(۰/۰۰۸)
کرمانشاهی	سیگموئیدی ۳ پارامتری	۰/۸۲ (۰/۱۵)	–	۹۹/۵۳ (۴/۶۶)	۰/۰۷۹(۰/۰۱)

* اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد می‌باشند.

در ارتباط با حساسیت گیاهان مختلف به بقایای سولفونیل اوره‌ها گزارش‌های مختلفی شده است. در مزارع تحت تیمار با علف‌کش متسولفورون متیل و تریا سولفورون، گزارش شده است که کلزا، ذرت، عدس، نخود، سیب زمینی و چغندرقند آسیب دیدند درحالی‌که جو و آفتابگردان حساسیتی به بقایای علف‌کش مذکور نشان ندادند. همچنین با کاربرد متسولفورون و تریا سولفورون، محصولات در تناوبی از جمله کلزا، ذرت، عدس، نخود، سیب زمینی و چغندر قند به بقایای آنها حساسیت نشان دادند اما جو، کتان و گندم نسبت به آنها متحمل بودند (۲۱). در مطالعات مربوط به زیست سنجی باقیمانده علف‌کش‌ها رشد ریشه گیاهان محک از شاخص‌های مهم در ارزیابی حساسیت گونه‌ها به بقایای علف‌کش و تعیین بقایای احتمالی آنها به‌شمار می‌رود. براساس شاخص ED_{50} برآورد شده زیست توده ریشه گیاهان به باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون (جدول ۴)، به نظر می‌رسد در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود، ژنوتیپ کرمانشاهی حساس‌ترین (۰/۰۲ میکروگرم در کیلوگرم خاک) و هاشم متحمل‌ترین (۰/۰۷ میکروگرم در کیلوگرم خاک) ژنوتیپ به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک باشند و سایر ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب حساسیت کرمانشاهی، کاکا، آی ال سی ۴۸۲ و هاشم بودند.

در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی نخود، زیست توده اندام هوایی ژنوتیپ آی ال سی ۴۸۲ و زیست توده ریشه ژنوتیپ کرمانشاهی حساسیت زیادی به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک نشان داد. از سویی دیگر با وجود آن که واکنش اندام هوایی و زمینی ژنوتیپ متحمل به بقایای علف‌کش (ژنوتیپ هاشم؛ متحمل‌ترین ژنوتیپ به لحاظ تولید زیست توده ریشه و اندام هوایی) یکسان بود؛ با این وجود، زیست توده ریشه (ED_{50}=۰/۰۷ میکروگرم در کیلوگرم خاک) ژنوتیپ هاشم، نسبت به اندام هوایی (ED_{50}=۰/۱۱۸ میکروگرم در کیلوگرم خاک)، حساسیت بیشتری به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک داشته است.



شکل۳- پاسخ زیست توده ریشه ژنوتیپ‌های نخود به باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک

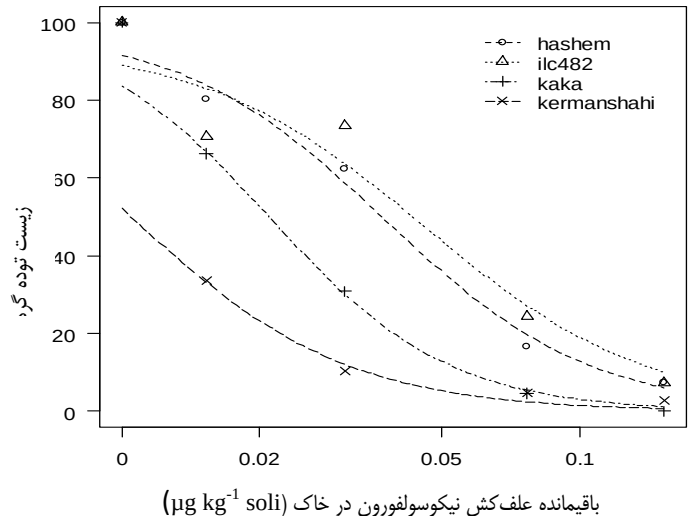
جدول ٤- پارامترهای حاصل از برازش داده‌های زیست توده کل ریشه ژنوتیپ‌های نخود به معادله سه پارامتری سیگموئیدی لجستیکی در علف‌کش نیکوسولفورون

ژنوتیپ	b	d	ED_{50} ($\mu g\ kg^{-1}$ soil)
هاشم	۲/۴۴ (۰/۸۵)	۹۳/۳۶ (۶/۰۸)	۰/۰۷ (۰/۰۱)
آی ال سی ۴۸۲	۳/۲۷ (۱/۰۳)	۱۰۴/۴۵ (۴/۸۰)	۰/۰۶ (۰/۰۰۵)
کاکا	۱/۷۱ (۰/۳۶)	۹۹/۲۱ (۶/۸۹)	۰/۰۴ (۰/۰۰۷)
کرمانشاهی	۱/۰۰ (۰/۲۴)	۹۹/۵۱ (۷/۱۲)	۰/۰۲ (۰/۰۰۵)

* اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد می‌باشند.

از آن‌جایی‌که ریشه گیاهان بیش‌تر در معرض علف‌کش‌ها قرار می‌گیرد و علف‌کش مذکور به‌طور غیر مستقیم از بازدارندگان تقسیم سلولی در مناطق تقسیم سلولی ازجمله مریستم‌های انتهایی ریشه محسوب می‌شوند، تأثیرپذیری بیشتر ریشه نسبت به ساقه از بقایای علف‌کش مذکور، دور از ذهن نبوده و تفاوت در واکنش اندام‌های هوایی و ریشه ژنوتیپ‌های مختلف نخود به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک نیز، ناشی از حساسیت مناطق مریستمی آنها می‌باشد. با این حال آزمایش‌های دقیق‌تری برای درک این تفاوت‌ها پیشنهاد می‌شود. باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک به‌طور معنی‌داری ($p \leq 0.01$) تعداد و زیست توده گره همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود را کاهش داد (جدول۲ و شکل۴). با توجه به نتایج حاصل، بیشترین و کمترین تأثیر منفی بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک بر گره‌زایی (تعداد و زیست توده گره) ژنوتیپ‌های نخود، به‌ترتیب در مقادیر باقیمانده ۰/۱۵۳ و ۰/۰۱۵۳ میکروگرم در کیلوگرم خاک از باقیمانده علف‌کش مشاهده شد. به‌طوری‌که در کمترین مقدار (۰/۰۱۵۳ میکروگرم در کیلوگرم خاک) از باقیمانده علف‌کش، کاهش ۲۹/۵۶ و ۳۷/۲۷ درصدی به‌ترتیب در تعداد و زیست توده گره گیاهان مشاهده شد (جدول ۲). تفاوت معنی‌داری بین مقادیر ۰/۰۷۶۷ و ۰/۱۵۳ میکروگرم در کیلوگرم خاک از باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون به لحاظ تأثیر بر روی تعداد گره تشکیل شده ریشه گیاهان نخود مشاهده نشد (جدول ۲). با این وجود، بیشترین تلفات تعداد (۸۸/۰۹ درصد) و زیست توده گره (۹۵/۶۰ درصد) گیاهان نخود نیز در پاسخ به مقدار ۰/۱۵۳ میکروگرم در کیلوگرم خاک از باقیمانده علف‌کش، به‌دست آمد. اثر متقابل باقیمانده علف‌کش – ژنوتیپ به‌طور معنی‌داری گره‌زایی ژنوتیپ‌های نخود را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). بر این اساس با افزایش باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک، تأثیر منفی آن بر گره‌زایی همه ژنوتیپ‌های نخود بیشتر شد. ژنوتیپ‌های هاشم و کاکا بیشترین تعداد گره و همچنین هاشم، آی ال سی۴۸۲ و کاکا نیز بیشترین زیست توده گره را در پاسخ به کمترین مقدار (۰/۰۱۵۳ میکروگرم در کیلوگرم خاک) از باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون تولید نمودند (جدول ۲). مقادیر ۰/۰۷۶۷ و ۰/۱۵۳ میکروگرم در کیلوگرم خاک از باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون، بیشترین تأثیر منفی را بر روی گره‌زایی ژنوتیپ‌های نخود داشته است، تفاوت معنی‌داری بین دو مقدار مذکور در همه ژنوتیپ‌ها مشاهده نشد. با این وجود ژنوتیپ کاکا در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود، کمترین گره‌زایی را در ۰/۱۵۳ میکروگرم در کیلوگرم خاک از باقیمانده علف‌کش، داشت. به‌طوری‌که در مقدار مذکور از باقیمانده علف‌کش، گره‌زایی ژنوتیپ کاکا متوقف شد (جدول ۲). به‌منظور بررسی حساسیت گره‌زایی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک، داده‌های حاصل از زیست توده گره ژنوتیپ‌های نخود، به معادلات ۳ و ۴ پارامتری لجستیکی برازش داده شد. براساس شاخص ED_{50} برآورد شده از زیست توده گره (جدول ۵) و با توجه به نتایج حاصل، به‌نظر می‌رسد در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود، کرمانشاهی حساس‌ترین (۰/۰۱۰ میکروگرم در کیلوگرم خاک) و آی ال سی ۴۸۲ (۰/۰۴۵ میکروگرم در کیلوگرم خاک) متحمل‌ترین ژنوتیپ به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک باشند و سایر ژنوتیپ‌ها به‌ترتیب حساسیت کرمانشاهی، کاکا، هاشم و آی ال سی ۴۸۲ بودند.

با توجه به نتایج حاصل از این آزمایش، بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک، میزان نیتروژن کل همه ژنوتیپ‌های نخود را به‌طور معنی‌داری کاهش داد (شکل ۵). تفاوت معنی‌داری در پاسخ مقدار نیتروژن کل ژنوتیپ‌های نخود به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک مشاهده شد (جدول ۱). براساس نتایج آزمایش، کمترین تلفات (۷/۶۶ درصد) در مقدار نیتروژن ژنوتیپ هاشم مشاهده شد و بین مقدار نیتروژن کل ژنوتیپ‌های کاکا، کرمانشاهی و آی ال سی ۴۸۲ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۵). نتایج در این پژوهش نشان داد که با افزایش باقیمانده علف‌کش در خاک، تأثیر منفی آن بر میزان نیتروژن کل گیاه بیشتر شد. البته در مقدار ۰/۰۳۰۷ میکروگرم در کیلوگرم خاک از باقیمانده علف‌کش، میزان نیتروژن کل گیاه به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت (۱۴/۳۵ درصد) (شکل ۶). به‌نظر می‌رسد این مقدار از علف‌کش، اثر تحریک‌کنندگی بر برخی از ژنوتیپ‌های نخود (هاشم) داشته باشد (جدول ۲). مقادیر ۰/۰۷۶۷ و ۰/۱۵۳ میکروگرم در کیلوگرم خاک از باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون به شدت مقدار نیتروژن کل گیاه را کاهش داد به‌طوری‌که بیشترین تلفات (۷۱/۲۲ درصد نسبت به شاهد) میزان نیتروژن کل در مقدار ۰/۱۵۳ میکروگرم در کیلوگرم خاک از باقیمانده علف‌کش مشاهده شد (شکل ۶).



شکل ٤- پاسخ زیست توده گره ژنوتیپ‌های نخود به باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک

جدول ٥- پارامترهای حاصل از برازش داده‌های زیست توده تر گره ژنوتیپ‌های مختلف نخود به معادله سه پارامتری سیگموئیدی لجستیکی در علف‌کش نیکوسولفوورن

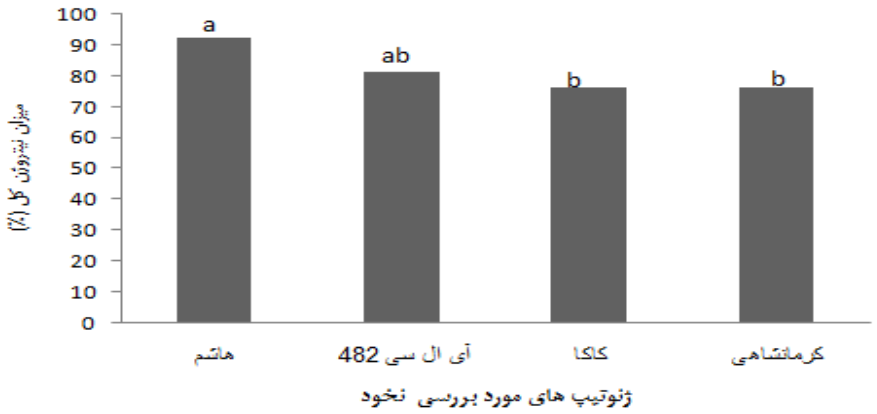
ژنوتیپ	b	d	ED_{50} (µgkg^{-1} soil)
هاشم	۱/۹۳ (۰/۴۲)	۹۸/۵۷ (۶/۴۸)	۰/۰۳۷ (۰/۰۰۵)
آی ال سی ۴۸۲	۱/۷۷ (۰/۴۸))	۷۴/۹۴ (۷/۳۴)	۰/۰۴۵ (۰/۰۰۸)
کاکا	۲/۲۰ (۰/۵۱)	۹۹/۸۸ (۶/۵۵)	۰/۰۲۰ (۰/۰۰۲)
کرمانشاهی	۱/۸۴ (۰/۹۶)	۱۰۰/۰۳ (۶/۵۶)	۰/۰۱۰ (۰/۰۰۳)

* اعداد داخل پرانتز خطای استاندارد می‌باشند.

اثر متقابل باقیمانده علف‌کش – ژنوتیپ، به‌طور معنی‌داری میزان نیتروژن کل ژنوتیپ‌های نخود را تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). بر این اساس، با افزایش باقیمانده علف‌کش در خاک، میزان نیتروژن کل همه ژنوتیپ‌ها به شدت کاهش یافت. به‌طوری‌که با افزایش باقیمانده علف‌کش به ۰/۱۵۳ میکروگرم در کیلوگرم خاک، میزان نیتروژن کل ژنوتیپ کاکا به صفر رسید. بیشترین مقدار نیتروژن کل گیاه نیز در ژنوتیپ‌های هاشم، آی ال سی ۴۸۲ و در تیمار با ۰/۰۳۰۷ میکروگرم در کیلوگرم خاک از باقیمانده علف‌کش مشاهده شد (جدول ۲). با توجه به نتایج مذکور، به نظر می‌رسد در بین ژنوتیپ‌های نخود مورد مطالعه، از نظر تأثیرپذیری تثبیت نیتروژن کل به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک، ژنوتیپ کاکا حساس‌ترین و در مقابل ژنوتیپ‌های هاشم، آی ال سی ۴۸۲ متحمل‌تر هستند.

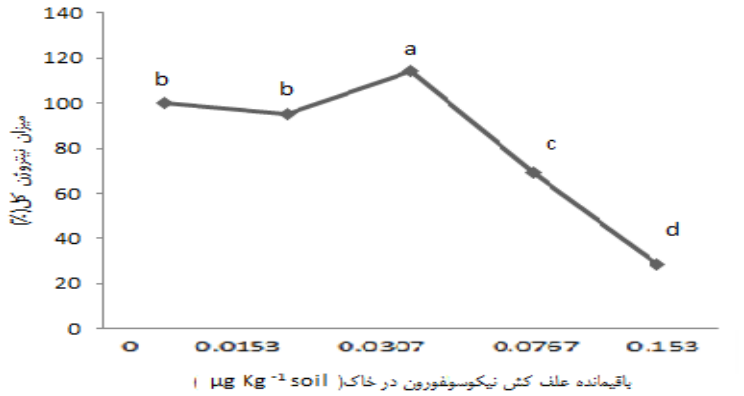
با توجه به نتایج حاصل، باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک به‌طور معنی‌داری گره‌زایی و مقدار نیتروژن تثبیت شده ژنوتیپ‌های نخود را کاهش داد. به‌طور کلی اعتقاد بر این است که علف‌کش‌ها می‌توانند با تأثیر مستقیم بر رشد (۵) و بقا رایزوبیا (۲۵) گره‌زایی و تثبیت بیولوژیک نیتروژن لگوم‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. همچنین علف‌کش‌ها می‌توانند از طریق تأثیر بر روی رشد گیاه و فراهمی مواد به‌دست آمده از فتوسنتز برای گره‌ها، گره‌زایی و در نهایت تثبیت نیتروژن را تحت تأثیر قرار دهند (۳۲). از طرف دیگر این امکان وجود دارد که علف‌کش فعالیت آنزیم نیتروژناز در گره‌ها را تحت تأثیر قرار دهند (۵). با این وجود برخی از علف‌کش‌ها ممکن است به توانایی رایزوبیوم برای تشخیص گیاه میزبان آسیب بزنند. به‌گونه‌ای که این علف‌کش‌ها در فرآیندهای زیست شیمیایی بین رایزوبیوم‌ها و گیاه میزبان اختلال ایجاد کرده که در نتیجه گره‌زایی به‌موقع، به تأخیر می‌افتد (۱۲).

به‌نظر می‌رسد از بین روش‌های مذکور در ارتباط با نحوه اثرگذاری علف‌کش‌ها بر روی فرآیند گره‌زایی و تثبیت نیتروژن در بقولات، علف‌کش نیکوسولفورون به‌واسطه تأثیر منفی که بر روی رشد گیاه نخود بر جای گذاشت، توانست گره‌زایی و مقدار نیتروژن ژنوتیپ‌های نخود را کاهش دهد. در این ارتباط روگرز و بالدوک (۲۳) در مطالعه‌ای گزارش نمودند که باقیمانده علف‌کش‌های کلروسولفورن و ایمازاتاپیر در خاک، گره‌زایی و مقدار نیتروژن تثبیت شده گیاه نخود را کاهش داده است.



شکل ۵- مقایسهٔ میانگین اثرات سادهٔ پاسخ میزان نیتروژن کل ژنوتیپ‌های مختلف نخود به بقایای علف کش نیکوسولفورون در خاک

میانگین‌هایی با یک حرف مشابه در هر شکل، از نظر آماری در سطح ۵ درصد، با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر ساده باقیمانده علف‌کش نیکوسولفورون در خاک بر میزان نیتروژن کل گیاهان نخود

میانگین‌هایی با یک حرف مشابه در هر شکل، از نظر آماری در سطح ۵ درصد، با هم اختلاف معنی‌داری ندارند.

نامبردگان، با مشاهده عدم تأثیر علف‌کش‌های مذکور بر رشد باکتری، بازدارندگی مستقیم علف‌کش‌ها بر روی رشد گیاه میزبان را یکی از دلایل کاهش در گره‌زایی نخود مطرح کرده‌اند. در پژوهش دیگری نیز فارکوهارسون (۱۴) کاهش در زیست توده گیاه و مقدار تثبیت نیتروژن گیاهان نخود و نخود فرنگی را به‌ترتیب در اثر کاربرد علف‌کش‌های ایمازاتاپیر و ایمازاوکس گزارش نمود. براساس نتایج حاصل در این پژوهش، زیست توده گره بیش از تعداد گره تحت تأثیر منفی بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک قرار گرفته است. به‌نظر می‌رسد ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود در پاسخ به تنش علف‌کش، گره‌های بیشتر با وزن کمتر تولید نمودند. در چنین شرایطی، هر گره ممکن است بخش کمتری از مواد حاصل از فتوسنتز را دریافت نماید که در نتیجه آن، زیست توده گره کاهش خواهد یافت (۴).

به‌طور کلی و براساس نتایج حاصل از این مطالعه، بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک، می‌تواند آسیب‌پذیری بالایی در ژنوتیپ‌های نخود داشته باشد. لذا بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک، در تناوب‌های زراعی که نخود پس از محصولاتی ازجمله ذرت قرار می‌گیرد که علف‌کش به‌کار رفته در آنها نیکوسولفورون است، رشد و تثبیت نیتروژن را محدود می‌کند. از سوی دیگر با توجه به تفاوت در حساسیت ژنوتیپ‌های نخود در پاسخ به بقایای علف‌کش نیکوسولفورون در خاک، این مهم نیز می‌تواند در انتخاب ژنوتیپ مناسب در شرایطی که احتمال آلودگی به بقایای آن وجود دارد، مورد توجه قرار گیرد. هرچند، عوامل متعددی نظیر بالا بودن اسیدیته خاک، پایین بودن درجه حرارت و رطوبت خاک، پایین بودن مواد آلی و غیره در ماندگاری علف‌کش‌های گروه سولفونیل اوره در خاک مؤثر است (۱۳)؛ اما با توجه به نتایج حاصل به‌نظر می‌رسد لزوم رعایت فاصله کاشت پس از برداشت محصولاتی نظیر ذرت که این علف‌کش در آنها کاربرد گسترده دارد؛ برای کاهش غلظت بقایای آن از آستانه ضروری است.

منابع

۱- پارسا، م. و ع. باقری. ۱۳۸۷. حبوبات. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. مشهد. ۵۲۲ صفحه.

۲- زند، ا.، س. ک. موسوی، و ا. صدری. ۱۳۸۷. علف‌کش‌ها و روش های کاربرد آن با رویکرد بهینه سازی و کاهش مصرف. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. مشهد. ۵۶۷ صفحه.

3- Abd-Alla, M. H., S. A. Omar., and S. Karanzha. 2000. The impact of pesticides on arbuscular mycorrhizal and nitrogen-fixing symbioses in legumes. Applied Soil Ecology 14: 191-200.

4- Anderson, A. 2001. The effect of acetolactate synthase (ALS) inhibiting herbicides on the growth, yield and nitrogen fixation of select legumes .PhD thesise, Adelaide University.

5- Anderson, A., J. A. Baldock, S. L. Rogers, W. Bellotti, and G. Gill. 2004. Influence of chlorsulfuron on rhizobial growth, nodule formation, and nitrogen fixation with chickpea. Australin Journal of Agriculture Research 55:1059-1070.

6- Drew, E., G. Vadakattua, and L. Lawrence. 2006. Herbicide limit nitrogen fixation ability. farming ahead, cropping pulses 28-30.

7- Datta, A., B. M. Sindel, P. Kristiansen, R. S. Jessop, and W. L. Felton. 2009. Effect of isoxaflutole on the growth, nodulation and nitrogen fixation of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Crop Protection 28: 923-927.

8- Djuric, S., and M. Jarak. 2006. The effect of sulphonylurea herbicides on the microbial activity in soil under maize. Annals of the faculty of engineering Hunedoara 1: 3-4.

9- European Food Safety Authority Scientific Report. 2007. Conclusion regarding the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance nicosulfuron 120: 1-91.

10- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Specifications and evaluations for agricultural pesticides. 2005. Nicosulfuron.

11- Fox, J. E., M. Starcevic, K. Kow, M. E. Burow, J. A. McLachlan. 2001. Endocrine disrupters and flavonoid signaling. Nature 413: 128-129.

12- Fox, J. E., M. Starcevic, P. E. Jones, M. E. Burow, and J. A. McLachlan. 2004. Pyhotestrogen signaling and symbiotic gene activation are disrupted by endocrine-disrupting chemicals. Environ Health Perspec 112: 672-677.

13- Friesen, G. H., and D. A. Wall. 1991. Residual effect of CGA-131036 and chlorsulfuron on spring snow rotational crops. Weed science 39: 280-283.

14- Farquharson, R. L. 2009. The impact of acetohydroxyacid synthase inhibiting herbicides on symbiotic nitrogen fixation of grain and pasture legumes. Ph.D Thesis, Adelaide University.

15- Halloway, K. L., R. S. Kookana, D. M. Noy, J. G. Smith, and N. Wilhelm. 2006. Crop damage caused by residual Acetolactate synthase herbicides in the soils of south-eastern Australia 46: 1323-1331.

16- Iswaran, V., and T. S. Marwah. 1980. Amodified rapid Kjeldahl method for determination of total nitrogen in agriculture and biological materials. Geobios 7: 281-282.

17- James, T., and M. Trolove, 2009. Persistence of residual herbicides in maize silage fields. Foundational for arable research 66: 1-2.

18- Moyer, J. R., R. Esau, and G. C. Kozub. 1990. Chlorsulfuron persistence and response of nine rotational crops in alkaline soil of southern Alberta. Weed Technology 4: 543-548.

19- Moorman, T. B., J. M. Becerril, J. L. Ydon, and S. O. Duke. 1992. Production of hydroxybenzoic acids by *Bradyrhizobium japonicum* strains after treatment with glyphosate. Journal Agriculture Food Chemistry 40: 289-293.

20- Martensson, A. M. 1992. Effects of agrochemicals and heavy metals on fast-growing rhizobia and their symbiosis with small-seeded legumes. Soil Biology and Biochemistry 24: 435-445.

21- Moyer, J. R., and W. M. Hamman. 2001. Factors affecting the toxicity of MON 37500 residues to following crops, Weed Technology 15: 42-47.

22- Niina, K. 2008. Influence of residual flucarbazone-sodium on inoculation success measured by growth parameters,nitrogen fixation, and nodule occupancy of field pea. MSc thesis, University of Saskatchewan.

23- Rogers, S., and J. Baldock. 2003. Herbicide link to low legume nitrogen fixation. Farming ahead.134: 39-40.

24- Russel, M. H., J. L. Saladin, and I. Lichtner. 2002. Sulfonyrea herbicide. Pesticide Outlook. Royal Society of Chemistry 166-173.

25- Singh, G., and D. Wright, 1999. Effects of herbicides on nodulation, symbiotic nitrogen fixation, growth and yield of pea (*Pisum sativum*). Journal of Agronomy Science133: 21-30.

26- Singh, G., and D. Wright. 2002. In vitro studies on the effects of herbicides on the growth of rhizobia. Letters in Applied Microbiology 35: 12-16.

27- Sprout, S. L., L. M. Nelson, and J. J. Germida. 1992. Influence of metribuzin on the *Rhizobium leguminosarum* – lentil (*Lens culinaris*) symbiosis. Canadian Journal of Microbiology 38: 343-349.
28- Santric, L. j., L. j. Radivojevic, R. Stankovic-Kalezic, and S. Djordjevic. 2004. Microbiological activity of soil treated with nicosulfuron. Pesticidi fitomedicina 19: 55-60.
29- Sanntin-montanya, I., L. Alonso-pradose, M. Villarroya, and J. M. Garcia-Baudin. 2006. Bioassay for determining sensitivity to sulfosulfuron on seven plant species. Journal of Environ science and Heal 41: 781-793.
30- Zhou, Q., W. Liu, Y. Zhang, K. Liu. 2007. Review Action mechanisms of acetolactate synthase-inhibiting herbicides. Pesticide Biochemistry and Physiology 89: 89-96.
31- Vidal, D., J. Martinez, C. Bergareche, A. M. Miranda, and E. Simon. 1992. Effect of methabenzthiazuron on growth and nitrogenase activity in *Vicia faba*. Plant and Soil 144: 235-245.
32- Wally, F., A. Taylor, and N. Lupwayi. 2006. Herbicide residues and effects on nitrogen fixation in pulse crops. Presented at Farm Tech. 2006. Herbicide Effects on Pulse Crop Nodulation and Nitrogen Fixation 52-55.