نشریه حفاظت گیاهان (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 29، شماره 3، پاییز 1394، ص. 336-325

Journal of Plant Protection
Vol. 29, No. 3, Fall 2015, P. 325-336

بررسی اثرات بقایای علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و ریم‌سولفورون در خاک بر رشد، گره‌زایی و تثبیت نیتروژن در نخود (*Cicer arietinum* L.)

زهرا سلیمانپور نقیبی[1*]- ابراهیم ایزدی دربندی[2]- مهدی راستگو[3]- مهدی پارسا[4]- احمد اصغرزاده[5]

تاریخ دریافت: 1392/09/04
تاریخ پذیرش: 1394/02/01

چکیده

به منظور بررسی تاثیر بقایای علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و ریم‌سولفورون در خاک بر رشد، گره‌زایی و تثبیت نیتروژن بر نخود، یکی از گیاهان موجود در تناوب با محصولاتی که علف‌کش‌های مذکور در آن استفاده می‌شوند، آزمایشی گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، در سه تکرار در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال 1391 انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل ژنوتیپ‌های نخود در چهار سطح (هاشم، آی‌ال‌سی 482، کاکا و کرمانشاهی)، علف‌کش‌ها در دو سطح (فورام‌سولفورون و ریم‌سولفورون) و باقیمانده علف‌کش‌ها در خاک در هشت سطح (0، 1 ، 2/5 ، 5 ، 10 ، 15 ، 20 و 30 درصد مقادیر توصیه شده علف‌کش‌ها) بودند. در ابتدای مرحله زایشی گیاهان (47 روز پس از کاشت)، زیست توده اندام‌های هوایی، ریشه و گره، تعداد گره و محتوای نیتروژن کل آن‌ها اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، بقایای علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و ریم‌سولفورون در خاک، به طور معنی‌داری تمام صفات مذکور را تحت تاثیر قرار دادند. با افزایش باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، تمام صفات مورد بررسی ژنوتیپ‌های نخود به شدت کاهش یافت. البته در کمترین سطح از باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، زیست توده اندام‌های هوایی ژنوتیپ‌های آی‌ال‌سی 482 و کاکا و گره‌زایی همه ژنوتیپ‌ها به غیر از کاکا تحریک شد. ژنوتیپ کرمانشاهی در پاسخ به بقایای علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک، کمترین زیست‌توده اندام‌های هوایی و ریشه را تولید نمود. علف‌کش ریم‌سولفورون تعداد و زیست‌توده گره ژنوتیپ‌های آی‌ال‌سی 482 و کاکا را کاهش داد. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود، مقدار نیتروژن کل ژنوتیپ‌های کاکا و کرمانشاهی بیشتر تحت تاثیر منفی باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک قرار گرفت. سطوح بکار رفته باقیمانده علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک نیز، میزان نیتروژن کل ژنوتیپ‌های نخود را کاهش داد. بر اساس شاخص ED_{50} (مقدار بقایای علف‌کش که باعث 50 درصد بازدارندگی در رشد می‌شود) ژنوتیپ کاکا حساس‌ترین و هاشم متحمل‌ترین ژنوتیپ به لحاظ تولید زیست‌توده اندام‌های هوایی، کرمانشاهی و آی‌ال‌سی 482 به ترتیب حساس‌ترین و متحمل‌ترین ژنوتیپ به لحاظ تولید زیست‌توده ریشه و هم‌چنین آی‌ال‌سی 482 متحمل‌ترین و کاکا حساس‌ترین ژنوتیپ به لحاظ گره‌زایی به بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک شناخته شدند.

واژه‌های کلیدی: آی‌ال‌سی 482 ، ژنوتیپ، کاکا، کرمانشاهی، هاشم

مقدمه

علف‌کش‌های گروه سولفونیل اوره از مهم‌ترین علف‌کش‌هایی هستند که در ایران به طور وسیعی به‌صورت قبل یا پس از رویش برای علف های باریک برگ و پهن برگ در محصولات زراعی مختلفی از جمله گندم، جو، ذرت و برنج بکار می‌روند (16). این گروه از علف کش ها از بازدارندگان تقسیم سلولی و بازدارنده فعالیت آنزیم استولاکتات سینتاز در گیاهان (آنزیمی کلیدی برای سنتز آمینواسیدهای منشعب نظیر لوسین، والین و ایزولوسین) می‌باشند (21). خاصیت انتخابی، کارایی بسیار بالا در مقادیر کم کاربرد و سمیت کم آن‌ها برای پستانداران، از مهم‌ترین خصوصیات علف‌کش‌های سولفونیل اوره می‌باشد (32 و33). با وجود ویژگی‌های بسیار مثبتی که برای علف کش های این گروه در منابع مختلف ذکر می‌گردد؛ اما برخی از این مواد شیمیایی دارای فعالیت باقیمانده طولانی در خاک بوده که این امر نگرانی‌هایی را برای سلامت گیاهان غیر هدف و حیوانات ایجاد کرده است (32). در این ارتباط گزارش شده است چنان‌چه میزان بقایای علف‌کش‌های سولفونیل اوره در محدوده 0/01 تا 0/07 نانوگرم در گرم خاک باشد، ممکن است رشد گونه‌های زراعی و مرتعی حساس کاهش یابد (15). در بین این گروه از علف‌کش‌ها، فورام‌سولفورون و ریم‌سولفورون، از مهم‌ترین علف کش‌های مزارع ذرت در ایران به شمار می‌روند (16). نتایج یافته‌های محققین نشان می‌دهد که بین ماندگاری این علف‌کش‌ها در خاک و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک ارتباط وجود دارد؛ به طوری که ممکن است در شرایط نامناسب خاک، نیمه عمر علف کش‌های مذکور به طور قابل ملاحظه‌ایی افزایش یابد (12). در این ارتباط برای علف‌کش‌های ریم‌سولفورون در خاک‌های لومی شنی و در شرایط هوازی یا غیرهوازی به ترتیب نیمه‌عمر 24/5 یا 22/5 روز (28) و در خاک‌های سبک دانمارک 90 یا 120 روز (22) گزارش شده است. همچنین، نیمه عمر علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک‌های هوازی 1/2 تا 9/5 روز و در برخی مطالعات تا 180 روز اعلام شده

1، 2، 3 و4- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: Zahra_spn@yahoo.com)
5- عضو هیات علمی موسسه آب و خاک

است (18). به‌طور کلی بر اساس گزارش‌های مذکور، نیمه‌عمر علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و ریم سولفورون می‌تواند از چند روز تا چند ماه متغیر (بسته به شرایط خاک) باشد، از اینرو به نظر می‌رسد بررسی احتمال اثرات منفی ناشی از باقیمانده این علف‌کش‌ها بر گیاهان تناوبی مهم و مفید باشد. در این میان، نخود (*Cicer arietinum* L.) از مهم‌ترین محصولات زراعی است که می‌تواند در تناوب با محصولاتی که با علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و ریم‌سولفورون تیمار می‌شوند قرار گیرد (19). نخود با داشتن ویژگی‌های مطلوبی از جمله بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، اختلال در چرخه زندگی آفات، بیماری‌ها، علف های هرز و به خصوص توانایی تثبیت نیتروژن، جایگاه ویژه‌ای را در تناوب گیاهان زراعی دارا می‌باشد (5). این مساله هر چند در بهبود عملکرد گیاهان زراعی تناوبی پس از آن مفید و موثر است، اما محدودیت‌هایی نیز ممکن است برای آن به‌ویژه بدلیل پسماند علف کش های محصول قبل به دنبال داشته باشد (19) . در ارزیابی حساسیت برخی از گیاهان زراعی از جمله نخود، لوبیا و عدس به بقایای علف‌کش‌های تری بنورون متیل و مزوسولفورون+یدوسولفورون، گزارش شده است که باقیمانده علف کش های مذکور به طور معنی‌داری زیست‌توده ریشه و اندام هوایی گیاهان مذکور را کاهش دادند (7 و 8). اعتقاد بر این است که علف‌کش‌ها به چندین روش می‌توانند رابطه همزیستی لگوم- رایزوبیوم را تحت تاثیر قرار دهند. این آفت‌کش‌ها می‌توانند از طریق تاثیر مستقیم بر رشد گیاه، گره‌زایی و تثبیت نیتروژن را متاثر سازند و یا از طریق تاثیر مستقیم بر بقاء و رشد رایزوبیوم‌ها توانایی آن‌ها برای همزیستی با گیاهان میزبان را کاهش دهند. در این ارتباط ممانعت از تشکیل سیگنال‌های بیوشیمیایی بین رایزوبیوم ها و گیاهان و نیز کاهش توانایی تقسیم سلولی در ریشه گیاه جهت تشکیل گره از دیگر اثرات علف‌کش‌ها بر همزیستی لگوم- رایزوبیوم بوده که متعاقب آن تثبیت زیستی نیتروژن را مختل می‌کند (2 و 11). نتایج تحقیقات نینا (17) نشان داد که نخود فرنگی حساسیت زیادی به بقایای علف کش فلوکاربازون سدیم در خاک داشته است. به طوری که در غلظت‌های بالا از باقیمانده علف‌کش مذکور، کاهش در نمو فیزیولوژیکی گیاه و عدم تشکیل گره بر روی ریشه مشاهده شد (17). در آزمایش‌های روگرز و بالدوک(23) که به منظور بررسی تاثیر بقایای برخی از علف کش های بازدارنده استولاکتات سینتاز بر تثبیت بیولوژیکی نخود انجام شد، مشاهده شد که بقایای علف‌کش‌های کلروسولفورون، ایمازاتاپیر و فلومتسولام باعث کاهش در زیست‌توده اندام‌های هوایی، تعداد گره و میزان نیتروژن گیاه نخود شدند. از آن‌جایی که در ارتباط با اثرات احتمالی باقیمانده علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و ریم سولفورون در خاک بر ویژگی‌های رشدی، گره‌زایی و تثبیت بیولوژیک نخود در کشور مطالعاتی انجام نشده است. این آزمایش با هدف بررسی پاسخ رشد، گره‌زایی و تثبیت بیولوژیک نیتروژن ژنوتیپ‌های نخود به بقایای شبیه‌سازی شده علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و ریم‌سولفورون در خاک و در شرایط کنترل شده انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در بهار و تابستان سال 1391 در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل ژنوتیپ‌های نخود در چهار سطح (هاشم، آی‌ال‌سی482، کاکا و کرمانشاهی)، علف‌کش‌ها در دو سطح (فورام‌سولفورون و ریم‌سولفورون) و باقیمانده علف‌کش‌ها در خاک در هشت سطح (0، 1، 2/5، 5، 10، 15، 20 و 30 درصد مقدار توصیه شده علف‌کش‌های فورام‌سولفورون (سوسپانسیون 22/5 درصد، 2 لیتر در هکتار) و ریم‌سولفورون (گرانول وتابل 25 درصد، 50 گرم در هکتار) بودند. نمونه خاکی از عمق صفر تا 10 سانتی‌متری مزرعه‌ای (واقع در پردیس دانشگاه فردوسی مشهد) که حداقل به مدت 5 سال سابقه کاربرد هیچ آفت کشی را نداشته باشد، تهیه و مقدار علف‌کش موردنیاز به ازای واحد وزن خاک، با تعیین چگالی خاک، محاسبه شد که در دز توصیه شده به ازای هر کیلوگرم خاک به ترتیب برابر با 173 میکروگرم ماده موثره علف‌کش فورام‌سولفورون و 4/8 میکروگرم ماده موثره علف‌کش ریم‌سولفورون بود. این مقادیر برای0، 1، 2/5، 5، 10، 15، 20 و 30 درصد مقدار توصیه شده به ترتیب برای علف‌کش فورام‌سولفورون 0، 1/73، 4/32، 8/65، 17/3، 25/9، 34/6 و 51/9 و برای علف‌کش ریم‌سولفورون 0، 0/048، 0/12، 0/24، 0/48، 0/72، 0/96 و 1/44 میکروگرم ماده موثره در کیلوگرم خاک بود. تیمارهای مربوط به بقایای علف‌کش‌ها در خاک با استفاده از اختلاط فرمولاسیون تجاری علف‌کش‌ها در 50 میلی‌لیتر آب و تهیه محلول‌های لازم برای هر یک از تیمارهای مربوط به بقایای علف‌کش‌ها در خاک، برای اختلاط با خاک به سطح خاک افزوده شد. به منظور اختلاط کامل علف‌کش‌ها با خاک؛ جهت تسهیل در عمل اختلاط علف کش‌ها و افزایش دقت کار برای تعیین غلظت‌های علف‌کش‌ها، ابتدا یک کیلوگرم از کل خاک مورد نیاز برای هر غلظت از هر علف‌کش (15 کیلوگرم) آماده شد (7)، سپس 50 میلی لیتر از هر یک از محلول‌های تهیه شده برای هر غلظت علف‌کش، با استفاده از بورت مدرج به طور یکنواخت روی خاک مذکور (نمونه یک کیلوگرمی) ریخته و پس از تبخیر آب، کاملاً با خاک مخلوط شد. سپس نمونه یک کیلوگرمی خاک مخلوط شده با محلول علف‌کش‌ها، با سایر خاک‌های مورد نیاز برای هر تیمار (14 کیلوگرم) مجدداً بطور کامل و یکنواخت مخلوط شد. پس از اختلاط و آماده‌سازی، خاک‌های آلوده شده با علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و ریم‌سولفورون، به گلدان‌ها منتقل و بذور گیاهان نخود پس از تلقیح با باکتری مزورایزوبیوم، برای اطمینان از سبز شدن به تعداد 8 عدد در هر گلدان و در عمق دو سانتی‌متری کشت شدند. گیاهان در طی دوره رشد، به طور یکنواخت و در حد ظرفیت زراعی آبیاری شدند. برای ممانعت از

آبشویی علف‌کش نیز، زیر گلدانی در زیر هر گلدان گذاشته شد. پس از سبز شدن و تثبیت گیاهان، در مرحله 2 تا 3 برگی نخود، گیاهان تنک و با توجه به این‌که در آزمایش‌های زیست سنجی علف‌کش ها برای گیاهان پهن برگی از قبیل نخود در ابعاد گلدان‌هـای مـورد اسـتفاده تراکم مناسب 3 بوته در گلدان اشاره شده است، تراکم آنها به سه بوته در هر گلدان تنظیم شد (34). در ابتدای مرحلـه زایشـی (10 الـی 20 درصد گلدهی، 47 روز پس از کاشت)، گیاهان مورد نظر در هر گلدان را از محل طوقه برداشت و پس از خاک‌شویی ریشه، تعداد گره و وزن ترگره اندازه‌گیری شدند. سپس، اندام های هوایی، ریشه، تعداد گره و زیست‌توده گره به آزمایشگاه منتقل و به مدت 48 ساعت در آون و در دمای 80 درجه سانتی‌گراد خشک شدند (4). سپس وزن خشک اندام-های هوایی و ریشه با ترازوی دیجیتال با دقت 0/001 ± گرم توزین شد. مقدار نیتروژن کل گیاه نیز با روش کلدال (14) اندازه‌گیری شـد. داده‌های به‌دست آمده از این آزمایش، پس از تبدیل به درصد تغییرات نسبت به شاهد، با استفاده از نرم افزار SAS (25) تجزیـه واریـانس شده و مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمـون LSD در سـطح 5 درصد انجام شد. تجزیه رگرسیون داده‌های حاصل با اسـتفاده از نـرم افزار R (24) و از برازش معادله سیگموئیدی سه و چهار پارامتری به زیست‌توده اندام‌های هوایی، ریشه و گره گیاهان استفاده شد و غلظت لازم برای 50 درصد بازدارندگی زیست‌توده ژنوتیپ‌های نخود (ED_{50}) محاسبه و در تحلیل نتایج آزمایش بکار گرفته شدند (27). (معادله1)

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

در این معادله b شیب منحنی، c حد پایین منحنی (پاسخ وقتـی کـه بیشترین مقدار علف‌کش استفاده شد)، e غلظتی از علف‌کش که سبب 50 درصد کاهش در مقدار پاسخ می شـود و d حـد بـالای منحنـی (پاسخ وقتی که میزان کاربرد علف‌کش صفر است). لازم به ذکر است زمانی که که در معادله فوق اثر پارامتر c معنی دار نبود با حذف آن، از معادله سه پارامتری (معادله 2) برای برازش داده‌ها استفاده شد.

$$f(x(b,d,e)) = c + \frac{d}{1+exp\{b(\log(x) - \log(e)\}} \quad (2)$$

در مواردی از آزمایش انجام گرفته از مدل چهـار پـارامتری تـابع هورموسیس (معادله 3) (3) که بـه شـرح ذیـل اسـت بـرای بـرازش زیست‌توده گره برخی از ژنوتیپ‌های نخود استفاده گردید. تنها تفاوت معادله فوق با معادلات قبلی، در پارامتر f آن است. که بیانگر مقدار اثر هورموسیس می‌باشد.

$$f(x,b,d,e,f) = c + \frac{d-c+fx}{1+\exp\{b(\log(x) - \log(e)\}} \quad (3)$$

نتایج و بحث

نتایج نشان دادند که بقایای علف‌کش‌هـای فـورام‌سـولفورون و ریم‌سولفورون در خاک، به طور معنی‌داری زیست‌توده اندام‌های هوایی و ریشه، گره، تعداد گره و مقدار نیتروژن کل گیاهان را تحت تاثیر قرار دادند (جدول 1).

جدول 1- میانگین مربعات (MS) مربوط به زیست توده اندام‌های هوایی، ریشه، گره، تعداد گره و مقدار نیتروژن گیاه در ژنوتیپ‌های نخود.

Table 1- Means of square (MS) of chikpea genotypes shoot biomass,root biomass, nodule biomass, nodule number and total nitrogen amount

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	زیست‌توده اندام-هوایی shoot biomass	زیست‌توده‌ریشه root biomass	تعداد گره nodule number	زیست‌توده‌گره Nodule biomass	مقدارنیتروژن کل total nitrogen amount
ژنوتیپ(G)	3	44**.2982	41**.6059	17668.75**	193598.80**	2757.28**
علف کش(H)	1	105829.36**	268297.52**	223577.71**	672996.12**	64**.163122
باقیمانده علف کش در خاک(R)	7	9659.35**	6198.17**	88**.9728	15546.51**	11481.10**
H× G	3	285.89**	3260.59**	15701.73**	85537.32**	979.69**
HR× G	21	318.80**	432.20**	1971.69**	11170.29**	230.15**
HR× H	7	10664.15**	8299.76**	24702.29**	86115.10**	8482.12**
HR×H× G	21	256.44**	455.89**	2271.96**	21510.23**	422.61**
خطا (Error)	128	42.48	18.19**	15.63	192.60	35.47
ضریب تغییرات(CV)		9.19	6.55	4.93	12.31	9.13

** معنی‌داری در سطح احتمال 1 درصد

significantly at 1% level**

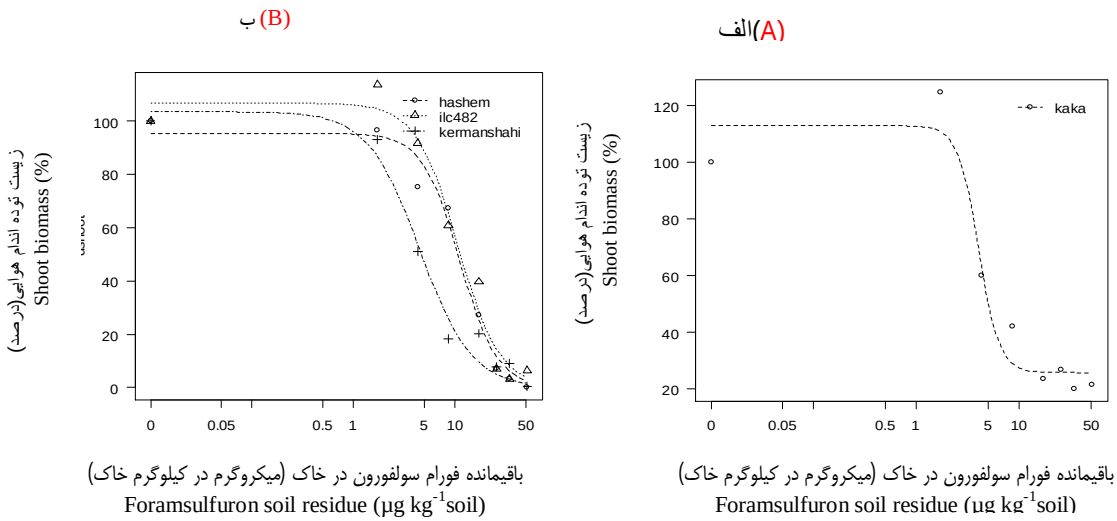
زیست‌توده اندام‌های‌هوایی و ریشه

در بررسی اثر باقیمانده علف‌کش‌ها بر زیست‌توده اندام‌هوایی گیاهان، مشاهده شد که با افزایش باقیمانده علف‌کش‌ها در خاک، زیست‌توده اندام‌هوایی گیاهان کاهش یافت. بیشترین و کمترین تلفات زیست‌توده اندام‌های‌هوایی به ترتیب در سطوح 20 و 1 درصد از باقیمانده علف‌کش‌ها مشاهده شد. این در حالی بود که در بیشترین سطح (30 درصد) از باقیمانده علف‌کش‌ها، زیست‌توده اندام‌هوایی گیاهان به شدت کاهش یافت. اما بیشترین تاثیر سوء باقیمانده علف‌کش‌ها بر صفت مذکور، در سطح 20 درصد مشاهده شد. در بررسی اثر علف‌کش‌ها بر زیست‌توده اندام‌هوایی مشاهده شد که علف‌کش فورام‌سولفورون تاثیر منفی بیشتری نسبت به علف‌کش ریم‌سولفورون بر صفت مذکور گیاهان داشته است. تفاوت معنی‌داری در پاسخ زیست‌توده اندام‌های‌هوایی ژنوتیپ‌های نخود به بقایای علف‌کش‌ها در خاک مشاهده شد. بر اساس نتایج آزمایش، بیشترین و کمترین تلفات زیست‌توده اندام‌های هوایی به ترتیب در ژنوتیپ‌های کرمانشاهی و کاکا مشاهده شد. اثر متقابل علف‌کش باقیمانده علف‌کش به طور معنی‌داری زیست‌توده اندام‌های‌هوایی گیاهان را کاهش داد. البته در کمترین سطح (1درصد) از باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، افزایش در زیست‌توده اندام‌های هوایی ژنوتیپ‌های نخود مشاهده شد. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد این سطح از باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک اثر تحریک کنندگی (هورموسیس) بر رشد گیاهان داشته باشد. بیشترین (92/90 و 11/82 درصد) تاثیر منفی بقایای علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و ریم‌سولفورون بر زیست‌توده اندام‌های هوایی گیاهان به ترتیب در سطوح 30 و 20 درصد مقدار غلظت اولیه آن‌ها در خاک، مشاهده شد. در بررسی اثر متقابل باقیمانده علف‌کش-ژنوتیپ بر زیست‌توده اندام‌های هوایی مشاهده شد که با افزایش باقیمانده هر یک از علف‌کش‌ها در خاک، تاثیر منفی آنان بر صفت مذکور در همه ژنوتیپ‌ها افزایش یافت. بر این اساس و در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، کمترین تلفات زیست‌توده اندام‌های هوایی مربوط به ژنوتیپ کاکا و در سطح 1 درصد از باقیمانده علف‌کش بود. به طوری که در سطح مذکور، زیست‌توده اندام‌های هوایی کاکا تحریک شد. هم‌چنین ژنوتیپ کرمانشاهی در سطوح 15، 20 و 30 درصد و هاشم و آی‌ال-سی 482 نیز در سطح 20 درصد از باقیمانده علف‌کش‌ها، کمترین زیست‌توده اندام‌های هوایی را تولید نمودند. اثرات متقابل ژنوتیپ - علف‌کش بر زیست‌توده اندام‌های هوایی گیاهان معنی‌دار بود (جدول1) با توجه به نتایج، کمترین (47 درصد) تلفات زیست‌توده اندام‌های هوایی در اثر بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک به ترتیب در ژنوتیپ‌های آی‌ال‌سی482- کاکا و بیشترین (62/52 درصد) تلفات زیست‌توده اندام‌های هوایی بقایای علف‌کش مذکور نیز در ژنوتیپ کرمانشاهی مشاهده شد. بقایای علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک، زیست‌توده اندام‌های ژنوتیپ کاکا را افزایش داد. ژنوتیپ کرمانشاهی نیز در پاسخ به بقایای علف کش ریم سولفورون در خاک، کمترین زیست‌توده اندام های هوایی را تولید نمود. اثر متقابل ژنوتیپ - علف‌کش– باقیمانده علف‌کش، بر زیست‌توده اندام‌های هوایی گیاهان مورد مطالعه معنی‌دار بود. بر این اساس زیست‌توده اندام‌های هوایی همه ژنوتیپ‌های نخود با افزایش باقیمانده علف کش فورام سولفورون در خاک کاهش یافت (جدول 5، شکل 1). البته در کمترین سطح (1 درصد) از باقیمانده علف کش فورام‌سولفورون در خاک، زیست‌توده اندام‌های هوایی ژنوتیپ های آی‌ال‌سی 482 و کاکا افزایش یافت. بیشترین تاثیر منفی بقایای علف کش فورام‌سولفورون در خاک بر زیست‌توده اندام‌های هوایی همه ژنوتیپ‌های نخود مربوط به سطوح 15، 20 و 30 درصد از باقیمانده آن بود. به طوری که زیست‌توده اندام‌های هوایی ژنوتیپ هاشم در بیشترین سطح از باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون به صفر رسید (جدول 5 و شکل 1، ب). بر اساس نتایج حاصل، در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود، کرمانشاهی حساسیت بیشتری به باقیمانده علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک داشته است.

در بررسی اثر باقیمانده علف‌کش‌ها بر زیست‌توده ریشه گیاهان، مشاهده شد که با افزایش باقیمانده علف کش‌ها در خاک، زیست‌توده ریشه گیاهان کاهش یافت. بیشترین و کمترین تلفات زیست‌توده ریشه نیز به ترتیب در سطوح 30 و 1 درصد از باقیمانده علف‌کش‌ها دیده شد. نتایج حاصل از بررسی اثر علف‌کش‌ها بر زیست‌توده ریشه، نشان داد که علف‌کش ریم‌سولفورون زیست‌توده ریشه گیاهان نخود را افزایش داده است؛ اما در مقابل علف‌کش فورام‌سولفورون به شدت صفت مذکور را کاهش داد. تفاوت معنی‌داری در پاسخ زیست‌توده ریشه ژنوتیپ‌های نخود به بقایای علف کش‌ها در خاک مشاهده شد. بر اساس نتایج آزمایش، بیشترین تلفات زیست‌توده ریشه در ژنوتیپ کرمانشاهی و کمترین تلفات آن نیز در آی‌ال‌سی482 مشاهده شد. اثر متقابل علف‌کش – باقیمانده علف‌کش به طور معنی‌داری زیست‌توده ریشه گیاهان را کاهش داد. با افزایش باقیمانده علف‌کش فورام سولفورون در خاک، کاهش زیست‌توده ریشه، افزایش یافت (جدول 5، شکل 2). بیشترین (95/84 درصد) و کمترین (42/87 درصد) تلفات زیست‌توده ریشه در اثر بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، به ترتیب مربوط به سطوح 30 و 1 درصد از باقیمانده آن در خاک بود. در بیشترین سطح از باقیمانده علف کش ریم‌سولفورون در خاک، زیست‌توده ریشه کاهش یافت. اما این کاهش نسبت به شاهد معنی‌دار نبود. در سایر سطوح باقیمانده از علف کش مذکور افزایش در زیست‌توده ریشه گیاهان مشاهده شد. در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ – باقیمانده علف کش مشاهده شد که ریشه همه ژنوتیپ‌ها با افزایش

باقیمانده علف کش‌ها در خاک کاهش یافت. ژنوتیپ آی‌ال‌سی482 بیشترین زیست‌توده ریشه را در کمترین سطح از باقیمانده علف‌کش‌ها در خاک تولید نمود. در بین ژنوتیپ های مورد مطالعه نخود، کاکا و کرمانشاهی کمترین زیست‌توده ریشه را در پاسخ به سطوح (10، 15، 20 و 30 درصد) از باقیمانده علف‌کش‌ها در خاک داشته اند. اثرات متقابل ژنوتیپ - علف کش بر زیست‌توده ریشه گیاهان معنی‌دار بود (جدول 1). با توجه به نتایج، کمترین (67/72 درصد) تلفات زیست‌توده ریشه در اثر بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک در ژنوتیپ آی‌ال‌سی482 و بیشترین (77/2 درصد) تلفات آن نیز در ژنوتیپ کرمانشاهی مشاهده شد. بقایای علف کش ریم سولفورون در خاک، زیست‌توده ریشه ژنوتیپ های هاشم و آی‌ال‌سی482 را افزایش داد. اثر متقابل ژنوتیپ - علف کش – باقیمانده علف کش، بر زیست‌توده ریشه گیاهان مورد مطالعه معنی‌دار بود. بر این اساس زیست‌توده ریشه همه ژنوتیپ‌های نخود با افزایش باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک کاهش یافت (جدول 5 شکل 2). بیشترین (60/90 و 67/68 درصد) زیست‌توده ریشه از سطح 1 درصد و در ژنوتیپ های هاشم و آی‌ال‌سی482 مشاهده شد. بیشترین تاثیر منفی بقایای علف کش فورام سولفورون در خاک بر زیست‌توده ریشه همه ژنوتیپ های نخود مربوط به سطوح 15، 20 و 30 درصد از باقیمانده آن بود. به طوری‌که زیست‌توده ریشه ژنوتیپ هاشم در بیشترین سطح از باقیمانده علف کش فورام‌سولفورون به صفر رسید (جدول 5 و شکل 2، الف).

بر اساس نتایج مذکور، در بین ژنوتیپ های مورد مطالعه نخود، کرمانشاهی حساسیت بیشتری به باقیمانده علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک داشته است. به طوری که بقایای علف کش مذکور، منجر به بیشترین تلفات در زیست‌توده ریشه ژنوتیپ مذکور شد. به نظر می رسد کاهش زیست توده اندامهای هوایی و ریشه در نتیجه کاربرد مقادیر باقیمانده علف کش‌ها می‌تواند به دلیل تاثیر بازدارندگی غیر مستقیم این علف‌کش‌ها بر فتوسنتز و فرایند تقسیم سلولی (33) یا اثر مستقیم بر سنتز آمینواسیدها باشد (21). بر طبق ایزدی دربندی و همکاران (8) و آندرسون و همکاران (2)، باقیمانده علف‌کش‌های تری‌بنورون متیل و کلروسولفورون، منجر به کاهش در زیست‌توده اندام‌های هوایی و ریشه نخود شدند. مقادیر باقیمانده علف‌کش‌های فورام سولفورون و فلوکاربازون – سدیم در خاک نیز، به ترتیب زیست‌توده اندام‌هوایی و ریشه گیاهان کلزا و نخود فرنگی را کاهش داد (17 و 20). در این آزمایش بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، رشد ریشه گیاهان مورد مطالعه را بیش از اندام هوایی تحت تاثیر قرار داد، به طوری که تلفات زیست‌توده ریشه، بیش از تلفات زیست‌توده اندام‌هوایی بوده است (جداول 2و3).



شکل 1- پاسخ زیست توده اندام هوایی ژنوتیپ های نخود: کاکا (الف) و هاشم، آی‌ال‌سی 482 و کرمانشاهی (ب) به مقادیر مختلف علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک

Figure 1- shoot biomass of Kaka(A) , Hashem,Ilc482 and Kermanshahi(B) chickpea gynotypes response to different amount of foramsulfuron herbicide in siol

جدول2- پارامترهای حاصل از برازش معادله سه و چهار پارامتری سیگموئیدی لجستیکی به داده‌های زیست‌توده اندام‌های هوایی ژنوتیپ های نخود در مقادیر مختلف باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک.

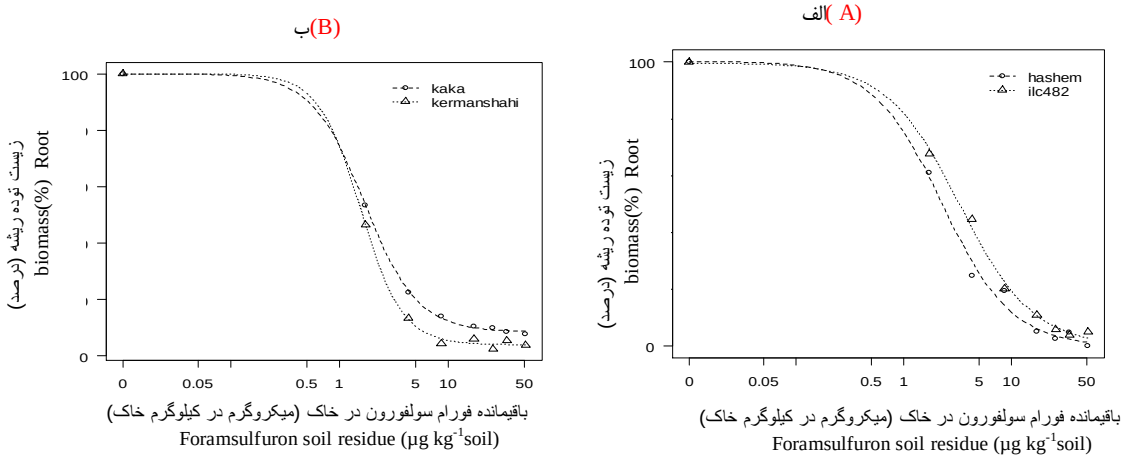
Table 2-Parameters estimated of chickpea genotypes shoot biomass fited to 3 and 4 sigmoidal equations to different amount of foramsulfuron herbicide in siol

Variety(رقم)	b	c	d	ED_{50}(µg/kg soil)
Hashem(هاشم)	2.35 (0.59)*	-	95.38 (5.95)	11.20 (1.64)
Ilc 482(آی ال سی 482)	2.10 (0.34)	-	106.68 (5.57)	10.73 (1.32)
Kaka(کاکا)	4.31 (4.85)	25.76 (6.89)	112.84 (9.15)	4.04 (0.65)
Kermanshahi(کرمانشاهی)	1/70 (0.37)	-	103.46 (6.85)	4.51 (0.68)

Standard error خطای استاندارد

از آنجایی که ریشه گیاهان بیش‌تر در معرض علف‌کش‌ها قرار می‌گیرد و علف‌کش مذکور بطور غیر مستقیم از بازدارندگان تقسیم سلولی در مناطق تقسیم سلولی از جمله مریستم‌های انتهایی ریشه محسوب می‌شوند، تاثیر پذیری بیشتر ریشه از بقایای علف‌کش مذکور دور از ذهن نمی‌باشد. در مطالعات مربوط به آزمایشات زیست سنجی بقایای علف‌کش‌ها، شاخص‌های ED_{10} ، ED_{30} و به ویژه ED_{50} برای زیست‌توده اندام‌هوایی گیاه، از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی حساسیت گیاهان به بقایای علف‌کش و طبقه‌بندی آن‌ها بر این اساس می‌باشد (13 و 27). از برازش زیست‌توده اندام‌های هوایی ژنوتیپ‌های مختلف نخود به بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون، توسط معادله سه و چهار پارامتری سیگموئیدی کمترین (4/04 میکروگرم در کیلوگرم خاک) و بیشترین (11/20 میکروگرم در کیلوگرم خاک) شاخص ED_{50} به ترتیب در ژنوتیپ‌های کاکا و هاشم مشاهده شد (جدول 2 و شکل 1). بر این اساس و با توجه به نتایج حاصل، به نظر می‌رسد در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود، کاکا حساس‌ترین و هاشم متحمل‌ترین ژنوتیپ به بقایای شبیه‌سازی شده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک باشند و سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص ED_{50} به صورت کاکا < کرمانشاهی < آی‌ال‌سی 482< هاشم طبقه‌بندی می‌شوند.

بر اساس شاخص ED_{50} برآورد شده؛ حساسیت اندام زیرزمینی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود به بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون ارزیابی گردید. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش کمترین (1/56 میکروگرم در کیلوگرم خاک) و بیشترین (3/30 میکروگرم در کیلوگرم خاک) شاخص مذکور به ترتیب در ژنوتیپ های کرمانشاهی و آی‌ال-سی482 مشاهده شد (جدول 3 و شکل 2). بر این اساس و با توجه به نتایج حاصل به نظر می‌رسد ریشه ژنوتیپ های کرمانشاهی و آی‌ال-سی 482 به ترتیب حساسیت و تحمل بیشتری به بقایای علف کش فورام‌سولفورون در خاک داشته باشند. و سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص ED_{50} به صورت کرمانشاهی < کاکا < هاشم < آی‌ال‌سی 482 طبقه‌بندی می‌شوند.



شکل 2- پاسخ زیست‌توده ریشه ژنوتیپ‌های نخود: هاشم،آی ال‌سی 82 4(الف) و کاکا، کرمانشاهی (ب) به مقادیر مختلف علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک

Figure 2- Root biomass of Hashem, Ilc482(A) , Kaka and Kermanshahi (B) chickpea gynotypes response to different amount of foramsulfuron herbicide in soil

جدول3- پارامترهای حاصل از برازش معادله سه و چهار پارامتری سیگموئیدی لجستیکی به داده‌های زیست توده ریشه ژنوتیپ‌های نخود در مقادیر مختلف باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک

Table 3-Parameters estimated of chickpea genotypes Root biomass fited to 3 and 4 sigmoidal equations to different amount of foramsulfuron herbicide in soil

Variety(رقم)	b	c	d	ED_{50}(µg/kg soil)
Hashem(هاشم)	1.34 (0.12)*	-	100.27 (2.97)	2.27 (0.19)
Ilc 482(آی ال سی 482)	1.27 (0.10)	-	99.65 (2.98)	3.30 (0.28)
Kaka (کاکا)	1.76 (0.13)	8.53 (0.76)	100.02 (1.28)	1.69 (0.06)
Kermanshahi(کرمانشاهی)	2.23 (0.19)	3.97 (0.65)	99.99 (1.28)	1.56 (0.04)

(Standard error) * خطای استاندارد

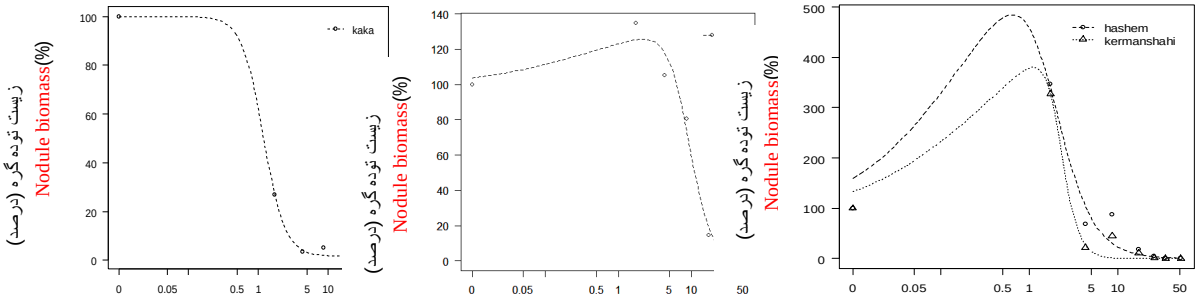
تعداد و زیست‌توده گره ریشه

بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش، تعداد گره، در همه ژنوتیپ‌های نخود به طور معنی‌داری تحت تاثیر بقایای هر یک از علف‌کش‌ها در خاک، قرار گرفتند (جدول 1). در بررسی اثر باقیمانده علف‌کش بر تعداد گره گیاهان مشاهده شد که، با افزایش باقیمانده علف‌کش‌ها در خاک، تعداد گره‌ریشه کاهش یافت. البته در کمترین سطوح (1 درصد) از باقیمانده علف‌کش‌ها، افزایش در تعداد گره گیاهان مشاهده شد. بیشترین تلفات تعداد گره در سطح 20 درصد از باقیمانده علف‌کش‌ها مشاهده شد. در بررسی اثر علف‌کش بر تعداد گره ریشه گیاهان نخود مشاهده شد که علف‌کش فورام‌سولفورون، تعداد گره همه ژنوتیپ‌های نخود را کاهش داد. اما علف‌کش ریم‌سولفورون نه تنها تاثیر منفی بر صفات مذکور نداشته بلکه گره‌زایی گیاهان نخود را نیز تحریک نمود. تفاوت معنی‌داری در پاسخ تعداد گره ریشه ژنوتیپ‌های نخود به بقایای علف‌کش‌ها در خاک مشاهده شد. بر این اساس در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود، کاکا بیشترین تلفات را در تعداد گره ریشه داشته است. گره‌زایی ژنوتیپ هاشم نیز نه تنها تحت تاثیر منفی بقایای علف‌کش‌ها در خاک قرار نگرفت؛ بلکه تحریک شد. به طوری‌که در میان ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود، بیشترین تعداد گره ریشه در ژنوتیپ مذکور مشاهده شد. در بررسی اثر متقابل علف‌کش– باقیمانده علف‌کش بر تعداد گره ریشه، مشاهده شد که با افزایش باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، تعداد گره ژنوتیپ‌های نخود به شدت کاهش یافت(جدول 5). البته کمترین سطح (1 درصد) از باقیمانده علف‌کش مذکور، گره‌زایی گیاهان نخود را تحریک نمود. بیشترین (بیش از 90 درصد) تلفات در تعداد گره مربوط به سطوح 15 ،20 و 30 درصد از باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک بود. بقایای علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک نیز تعداد گره گیاهان را افزایش داد. بر اساس نتایج حاصل از بررسی اثر متقابل ژنوتیپ – باقیمانده علف‌کش، بر تعداد گره ریشه گیاهان، مشاهده شد که با افزایش باقیمانده علف‌کش‌ها در خاک، تعداد گره ژنوتیپ‌های کاکا، کرمانشاهی و آی‌ال‌سی482 کاهش یافته است. بر اساس نتایج حاصل، ژنوتیپ هاشم بیشترین و آی‌ال‌سی482 کمترین تعداد گره را به ترتیب در سطوح 1 و 10 درصد از باقیمانده علف‌کش‌ها تولید نمودند. در بررسی اثر متقابل علف‌کش- ژنوتیپ بر تعداد گره ریشه گیاهان، مشاهده شد که علف‌کش فورام‌سولفورون تعداد گره همه ژنوتیپ های مورد مطالعه نخود را کاهش داد. بر اساس نتایج حاصل، کمترین تلفات تعداد گره (44/18 درصد) در ژنوتیپ آی‌ال‌سی482 و هم‌چنین بیشترین تلفات تعداد گره (65/54 درصد) نیز در ژنوتیپ کاکا مشاهده شد. علف‌کش ریم‌سولفورون نیز تعداد گره ژنوتیپ‌های آی‌ال‌سی 482 و کاکا را کاهش داد. حال این که در سایر ژنوتیپ ها افزایش در صفات مذکور مشاهده شد. اثر متقابل ژنوتیپ- علف‌کش – باقیمانده علف‌کش بر تعداد گره ریشه گیاهان مورد مطالعه معنی‌دار بود (جدول1). بر این اساس با افزایش باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، تعداد گره ریشه همه ژنوتیپ‌ها به شدت کاهش یافت. به طوری که تعداد گره ژنوتیپ‌های هاشم، آی‌ال‌سی 482 و کرمانشاهی در پاسخ به سطوح 15، 20 و 30 درصد از باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک بیش از 90 و 100 درصد کاهش یافت. بر اساس نتایج حاصل، در کمترین سطح از باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، گره‌زایی ژنوتیپ‌های هاشم، آی‌ال‌سی 482 و کرمانشاهی تحریک شد. بیشترین تاثیر منفی باقیمانده علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک بر تعداد گره ریشه گیاهان مربوط به ژنوتیپ آی‌ال‌سی 482 بود (جدول 5). بقایای هر یک از علف‌کش‌ها به طور معنی‌داری زیست‌توده گره ریشه گیاهان، را تحت تاثیر خود قرار داد (جدول 1). بر این اساس سطوح 1 تا 5 درصد از باقیمانده هر یک از علف‌کش‌ها، منجر به افزایش زیست‌توده گره ریشه گیاهان نخود شدند. بیشترین تلفات زیست‌توده گره نیز در سطح 20 درصد از باقیمانده هر یک از علف‌کش‌ها مشاهده شد. در این پژوهش و در بررسی اثر علف‌کش‌ها بر زیست‌توده گره‌ریشه مشاهده شد که

علف‌کش فورام‌سولفورون، زیست‌توده گره را کاهش و علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک نیز منجر به افزایش آن گردید. اثر ژنوتیپ به طور معنی‌داری زیست‌توده گره را تحت تاثیر قرار داد. بر این اساس، ژنوتیپ‌های هاشم و کرمانشاهی در پاسخ به بقایای هر یک از علف‌کش‌ها، زیست‌توده گره خود را افزایش دادند. ژنوتیپ کاکا نیز در واکنش به باقیمانده علف‌کش‌ها در خاک، کمترین زیست‌توده گره را تولید نمود. اثر متقابل علف‌کش-باقیمانده علف‌کش به طور معنی-داری زیست‌توده گره ریشه گیاهان نخود را تحت تاثیر قرار داد. با افزایش باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، زیست‌توده گره ریشه گیاهان به شدت کاهش یافت. البته کمترین سطح (1درصد) از باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، زیست‌توده گره را تحریک نمود (شکل 3،الف و ب). تمام سطوح از باقیمانده علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک، زیست‌توده گره ریشه گیاهان نخود را افزایش داد. در بررسی اثر متقابل باقیمانده علف‌کش -ژنوتیپ بر زیست‌توده گره ریشه، کاهش در زیست‌توده گره ژنوتیپ‌های آی‌ال‌سی 482 و کاکا، با افزایش مقدار باقیمانده هریک از علف‌کش‌ها در خاک مشاهده شد. اثر متقابل علف‌کش-ژنوتیپ بر زیست‌توده گره گیاهان نخود معنی‌دار بود. بر این اساس، علف‌کش‌های فورام‌سولفورون زیست‌توده گره همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود و ریم‌سولفورون نیز زیست‌توده گره ژنوتیپ‌های آی‌ال‌سی 482 و کاکا را کاهش دادند. ژنوتیپ‌های کاکا و هاشم در پاسخ به علف‌کش فورام‌سولفورون به ترتیب کمترین و بیشترین زیست‌توده گره را تولید نمودند. هم‌چنین زیست‌توده گره ریشه ژنوتیپ کاکا بیش از سایر ژنوتیپ‌ها تحت تاثیر منفی علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک قرار گرفت. در بررسی اثر سه گانه علف‌کش-ژنوتیپ- باقیمانده علف‌کش بر زیست‌توده گره مشاهده شد که با افزایش باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، زیست‌توده گره همه ژنوتیپ‌های نخود به شدت کاهش یافت. به طوری که کاهش بیش از 90 درصدی در زیست‌توده گره ژنوتیپ کاکا در سطوح 2/5 تا 30 درصد از باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون مشاهده شد (جدول 5، شکل 3،ج). از جمله دلایل کاهش گره‌زایی در ریشه گیاه نخود را می‌توان به تاثیر مستقیم علف‌کش‌ها بر رشد (2) و بقا رایزوبیا (29) اشاره کرد. هم‌چنین علف‌کش‌ها می‌توانند از طریق تاثیر بر روی رشد گیاه و فراهمی مواد به‌دست آمده از فتوسنتز برای گره‌ها، گره‌زایی و در نهایت تثبیت نیتروژن را تحت تاثیر قرار دهند (31). از طرف دیگر این امکان وجود دارد که علف‌کش‌ها فعالیت آنزیم نیتروژناز در گره‌ها را تحت تاثیر قرار دهند (2). با این وجود برخی از علف‌کش‌ها ممکن است به توانایی رایزوبیوم برای تشخیص گیاه میزبان آسیب بزنند. به گونه‌ایی که این علف‌کش‌ها در فرایندهای زیست شیمیایی بین رایزوبیوم ها و گیاه میزبان اختلال ایجاد کرده که در نتیجه گره‌زایی به موقع، به تاخیر می‌افتد (10). گزارش شده است که بقایای علف‌کش‌فلوکاربازون –سدیم در خاک، تعداد و زیست‌توده گره تشکیل شده در گیاه نخود فرنگی را کاهش داده است (17). هم‌چنین در تحقیقات اس زاوزینک و تومارو (26) نیز کاهش 38 درصدی در تعداد گره در هر گیاه سویا، در نتیجه کاربرد علف‌کش کلوریمورون‌اتیل، گزارش شد. با توجه به نتایج بدست آمده در این آزمایش، به نظر می‌رسد که بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک با محدود نمودن رشد ریشه و متعاقب آن رشد کل گیاه، گره‌زایی (تعداد و زیست‌توده گره) ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود را تحت تاثیر خود قرار داده است. بر اساس نتایج حاصل در این آزمایش، بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک تاثیر منفی بیشتری بر روی زیست‌توده گره در مقایسه با تعداد گره داشته است (جدول5). به نظر 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، زیست‌توده گره کاهش خواهد یافت (2). بر اساس شاخص ED_{50} برآورد شده؛ حساسیت زیست‌توده گره ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود به بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون ارزیابی گردید. بیشترین و کمترین شاخص ED_{50}، به ترتیب در ژنوتیپ‌های آی‌ال-سی 482 (9/18 میکروگرم در کیلوگرم خاک) و کاکا (1/03میکروگرم در کیلوگرم خاک) مشاهده شد (جدول4 و شکل 3). بر این اساس، به نظر می‌رسد در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی نخود، آی‌ال‌سی 482 متحمل‌ترین و کاکا حساس‌ترین ژنوتیپ به بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک باشد. و سایر ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس شاخص مذکور به صورت زیر طبقه بندی می‌شوند: کاکا< هاشم < کرمانشاهی < آی‌ال‌سی 482

در معادلات مربوط به آزمایشات زیست سنجی، شاخص f بیانگر اندازه اثر هورموسیس می‌باشد (3). بر اساس شاخص مذکور، بیشترین و کمترین میزان هورموسیس به ترتیب در ژنوتیپ‌های هاشم و آی-ال‌سی 482 مشاهده گردید (جدول4). در این پژوهش، در کمترین مقدار باقیمانده از علف‌کش فورام‌سولفورون گره‌زایی تحریک شد. به نظر می‌رسد پدیده هورموسیس (جدول 4 و شکل 3)، مهم‌ترین دلیل افزایش تعداد و زیست‌توده گره در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود (به جز کاکا) می‌تواند باشد. از آن‌جایی که افزایش تعداد و زیست‌توده گره ژنوتیپ‌های نخود در این آزمایش، در کمترین مقدار از کاربرد علف‌کش فورام‌سولفورون روی داده است و در سایر مقادیر کاهش مشاهده شده است، دلیل مذکور، می‌تواند منطقی باشد. در این ارتباط دورگشا و لکشمینارآسیمهان (6) گزارش نمودند که مقادیر کم علف‌کش فلوکلورالین گره‌زایی بادام زمینی را افزایش داده است.

الف(A) ب (B) ج(C)



باقیمانده فورام سولفورون در خاک (میکروگرم در کیلوگرم خاک) Foramsulfuron soil residue (µg kg^{-1}soil)

باقیمانده فورام سولفورون در خاک (میکروگرم در کیلوگرم خاک) Foramsulfuron soil residue (µg kg^{-1}soil)

باقیمانده فورام سولفورون در خاک (میکروگرم در کیلوگرم خاک) Foramsulfuron soil residue (µg kg^{-1}soil)

شکل 3- پاسخ زیست توده گره ژنوتیپ‌های نخود؛ هاشم، کرمانشاهی (الف)، آی‌ال‌سی 482 (ب) و کاکا (ج) به مقادیر مختلف علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک

Figure 3- Nodule biomass of Hashem and Kermanshahi (A),ILC482 (B) and Kaka (C) chickpea gynotypes response to different amount of foramsulfuron herbicide in soil

جدول 4- پارامترهای حاصل از برازش داده‌های زیست توده گره ژنوتیپ‌های نخود به معادله 3 و 4 پارامتری سیگموئیدی لجستیکی در علف‌کش فورام‌سولفورون

foramsulfuron Table 4-Parameters estimated of chickpea genotypes Nodule biomass fited to 3 and 4 sigmoidal equations in herbicide

Variety(رقم)	b	d	ED_{50}(µg/kg soil)	f
Hashem(هاشم)	2.07 (0.62)	101.66 (28.98)	1.75 (0.88)	1354.04 (842.39)
Ilc 482(آی ال سی 482)	2.91(0. 90)	101.30 (9.42)	9.18 (1.45)	59.77 (35.70)
Kaka(کاکا)	1.98 (0.50)	100.01 (2.12)	1.03 (0.16)	-
Kermanshahi(کرمانشاهی)	4.41 (6.62)	100.33 (28.98)	2.25 (2.69)	786.37 (1706.09)

(Standard error) * خطای استاندارد

اما در مقادیر بالای علف کش مذکور، گره‌زایی کاهش یافت. در پژوهش دیگری نشان داده شد که مقادیر بسیار کم علف‌کش متابنزتیازورون گره‌زایی گیاه باقالا را افزایش داده است (30) .

نیتروژن کل گیاه

نتایج نشان دادند که علف‌کش‌های مورد بررسی، تاثیر متفاوتی بر مقدار نیتروژن کل ژنوتیپ‌های نخود داشتند. بر اساس نتایج حاصل، از این پژوهش، مقدار نیتروژن کل گیاهان نخود به طور معنی‌داری تحت تاثیر باقیمانده علف‌کش‌های مورد مطالعه، قرار گرفت (جدول1). در بررسی اثر باقیمانده علف‌کش بر مقدار نیتروژن کل گیاه مشاهده شد که با افزایش باقیمانده هر یک از علف‌کش‌ها در خاک، مقدار نیتروژن کل گیاه به شدت کاهش یافت (جدول 5). کمترین کاهش در مقدار نیتروژن کل، مربوط به کمترین سطح از باقیمانده علف‌کش‌ها بود. بین سطوح 10، 15، 20 و 30 درصد از باقیمانده علف‌کش‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین تلفات مقدار نیتروژن کل نیز مربوط به سطوح مذکور از باقیمانده علف‌کش‌ها بوده است. اثر علف‌کش‌ها بر مقدار نیتروژن کل گیاه، معنی‌دار بود (جدول1). بر این اساس علف‌کش فورام‌سولفورون تاثیر منفی بیشتری نسبت به علف‌کش ریم‌سولفورون، بر مقدار نیتروژن کل گیاه داشته است. پاسخ مقدار نیتروژن کل ژنوتیپ‌های نخود به بقایای علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و ریم‌سولفورون در خاک متفاوت بود. بر این اساس و در بررسی اثر ژنوتیپ بر مقدار نیتروژن کل گیاه؛ بیشترین و کمترین تلفات مقدار نیتروژن به ترتیب در ژنوتیپ‌های کرمانشاهی و آی‌ال‌سی 482 مشاهده شد. اثر متقابل علف‌کش - باقیمانده علف‌کش، به طور معنی‌داری مقدار نیتروژن کل گیاهان نخود را تحت تاثیر قرار داد. با افزایش باقیمانده علف‌کش

فورام‌سولفورون در خاک تاثیر منفی آن بر مقدار نیتروژن کل گیاهان نخود افزایش یافت. به طوری‌که در سطوح 20 و 30 درصد از باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون، میزان نیتروژن کل گیاهان به صفر رسید (جدول 5). تمام سطوح از باقیمانده علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک به طور معنی‌داری نسبت به شاهد، میزان نیتروژن گیاهان نخود را کاهش دادند. در بررسی اثر متقابل باقیمانده علف‌کش - ژنوتیپ بر مقدار نیتروژن کل گیاه مشاهده شد که با افزایش باقیمانده هر یک از علف‌کش‌های فورام‌سولفورون و ریم‌سولفورون در خاک، مقدار نیتروژن کل همه‌ی ژنوتیپ‌های نخود به شدت کاهش یافت. بیشترین تلفات مقدار نیتروژن کل در ژنوتیپ کرمانشاهی و از سطوح 15، 20 و 30 درصد از باقیمانده علف‌کش‌ها مشاهده شد. اثر متقابل علف‌کش- ژنوتیپ بر مقدار نیتروژن کل گیاهان معنی‌دار بود (جدول 1). بر این اساس علف‌کش فورام‌سولفورون مقدار نیتروژن کل همه ژنوتیپ‌های نخود را کاهش داد. در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه نخود، مقدار نیتروژن کل ژنوتیپ‌های کاکا و کرمانشاهی بیشتر و آی‌ال‌سی 482 نیز کمتر تحت تاثیر منفی علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک قرار گرفت. علف‌کش ریم‌سولفورون تاثیر منفی بر مقدار نیتروژن کل ژنوتیپ‌های آی‌ال‌سی 482 و کاکا نداشت. اما میزان نیتروزن کل ژنوتیپ کرمانشاهی بیشتر تحت تاثیر منفی علف‌کش ریم‌سولفورون قرار گرفت. اثر متقابل علف‌کش - باقیمانده علف‌کش -ژنوتیپ به طور معنی‌داری مقدار نیتروژن کل گیاهان نخود را تحت تاثیر قرار داد (جدول1). بر این اساس با افزایش باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، مقدار نیتروژن کل همه ژنوتیپ‌های نخود به شدت کاهش یافت. به طوری‌که میزان نیتروژن کل ژنوتیپ‌های هاشم و کرمانشاهی در سطوح 15 تا 30 درصد، آی‌ال‌سی 482 در سطوح 20 تا 30 درصد و کاکا در سطوح 10 تا 30 درصد از باقیمانده علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، به صفر رسید (جدول5). بقایای علف‌کش ریم‌سولفورون در خاک نیز در تمام سطوح باقیمانده، منجر به کاهش مقدار نیتروژن ژنوتیپ‌های کرمانشاهی و هاشم شد. البته کمترین سطح از باقیمانده علف‌کش مذکور، مقدار نیتروژن ژنوتیپ هاشم را افزایش داد (جدول 5). با توجه به نتایج حاصل از این بررسی به نظر می‌رسد، از چندین روش تاثیرگذاری علف‌کش‌ها بر روی گره‌زایی و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، علف‌کش‌های مورد استفاده در این آزمایش با کاهش در رشد گیاه و فراهمی مواد فتوسنتزی برای گره‌ها (29) زیست‌توده ریشه و در نتیجه مکان‌های آلوده سازی توسط باکتری‌های تثبیت کننده ازت، تعداد و زیست‌توده گره را کاهش داده اند و به این طریق توانسته اند میزان نیتروژن تثبیت شده گیاهان مورد مطالعه در این بررسی را کاهش دهند. در این ارتباط آندرسون و همکاران (2) کاهش 52 و 40 تا 57 درصدی را در میزان نیتروژن تثبیت شده نخود به ترتیب در اثر بقایای علف‌کش‌های ایمازاتاپیر و کلروسولفورن اعلام داشته اند. در تحقیق دیگری نیز دیتا و همکاران (4) نشان دادند که میزان نیتروژن تثبیت شده ارقام حساس نخود تیمار شده با علف‌کش ایزوکسافلوتول کاهش یافته است.

به طور کلی و بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، می‌تواند آسیب پذیری بالایی در ژنوتیپ‌های نخود داشته باشد. از این رو محدودیت در تناوب زراعی می‌تواند از مهم‌ترین مشکلات ناشی از کاربرد فورام‌سولفورون در محصولات قبل از نخود باشد. از سوی دیگر با توجه به تفاوت در حساسیت ژنوتیپ‌های نخود در پاسخ به بقایای علف‌کش فورام‌سولفورون در خاک، این مهم نیز می‌تواند در انتخاب ژنوتیپ مناسب در شرایطی که احتمال آلودگی به بقایای آن وجود دارد، مورد توجه قرار گیرد. هر چند، عوامل متعددی نظیر بالا بودن اسیدیته خاک، پایین بودن درجه حرارت و رطوبت خاک، پایین بودن مواد آلی و... در ماندگاری علف‌کش‌های گروه سولفونیل اوره در خاک موثراست (9)؛ اما با توجه به نتایج حاصل، به نظر می رسد 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. از آن‌جایی که سطوح بررسی شده از بقایای علف کش ریم سولفورون نیز در این پژوهش، اثر منفی بسیار کم یا حتی اثر تحریک‌کنندگی بر ویژگی‌های رشدی ژنوتیپ‌های مورد بررسی نخود داشته است، این امکان وجود دارد که بتوان علف کش مذکور را به عنوان علف‌کش انتخابی در مزرعه نخود معرفی کرد. در این ارتباط آزمایش‌های تکمیلی در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای پیشنهاد می‌شود.

منابع

1- Anderson A. 2001.The effect of acetolactate synthase (ALS) in hibiting herbicides on the growth , yield and nitrogen fixation of select legumes . PhD thesis, Adelaide University.

2- Anderson A., Baldock J.A., Rogers S.L., Bellotti W., and Gill G . 2004. Influence of chlorsulfuron on Rhizobial growth, nodulation formation, and nitrogen fixation with chickpea. Australian Journal of Agricultural Research, 55: 1059 – 1070.

3-Brain P., and Cousens R. 1989. An equation to describe dose responses wherethere is stimulationof growth at low doses.Weed Research, 29:93. −96.

4-Datta A., Sindel B.M., Kristiansen P., Jessop R.S., and Felton W.L. 2009. Effect of isoxaflutole on the growth, nodulation and nitrogen fixation of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Crop Protection , 28:923 – 927.
5- Drew E., Vadakattua G.,and lawrence L. 2006. Herbicide limit nitrogen- fixing ability.Farming ahead,176: 28-30.
6- Durgesha M., and Lakshminarasimhan A.V. 1989. The effects of fluchloralin on the growth and nodulation of peanut plants. Pesticides, 23 : 24 -27.
7-Eizadi darbandi E,Rashedemohassel M.,Mahmodi GH., and Dehgan M.2011. Evaluation the Crop plant sensitivity to herbicide residues of Mesosulfuron+Iodosulfuron (Total) in soil. Journal of Plant Protection, 25(2): 194-201. (in Persian).
8-Eizadi darbandi E., Rashedemohassel M., Mahmodi Gh., and Dehgan M. 2013. Evaluation some of Crop plants tolerance to herbicide residues of Tribenuron-methyl (Granstar) in soil. Journal of Plant Protection, 26(4):362-369. (in Persian)
9- Friesen G.H., Wall D.A.1991. Residual effect of CGA-131036 and chlorsulfuron on spring- snow rotational crops. Weed Science, 39:280-283.
10-Fox J.E., Starcevic M., Jones P.E., Burow M.E., and McLachlan J.A. 2004 . Pyhotestrogen signaling and symbiotic gene activation are disrupted by endocrine-disrupting chemicals. Environ Health Perspec, 112: 672-677.
11-Fox J.E., Gulledge J., Engelhaupt E., Burow M.E., and McLachlan J.A. 2007. Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. Plant National Academy of Sciences of the USA (PNAS), 104: 10282 – 10.0287.
12-Ghadiri H. 2007.Weed science principles and practices.Shiraz university press 346 (in Persian).
13- Halloway K.L., Kookana R.S., Noy D.M., Smith J.G., and Wilhelm N. 2006. Crop damage caused by residual Acetolactate synthase herbicides in the soils of south-eastern Australia, 46: 1323 - 1331.
14-IswaranV., and MarwahT. S. 1980. Amodified rapid Kjeldahl method for determination of total nitrogen in agriculture and biological materials. Geobios, 7: 281 - 282.
15-Mosier D.G., Peterson D.E., and Regehr D.L. 1990. Herbicide mode of action. Kansas State University Manhattan Publication. Kansas.
16-Mosavi M.R. 2008.weed control (Principles and Practices) .Tehran Gohar Press (in Persian).
17-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 .
18- Pest Management Regulatory Agency. 2003 . Foramsulfuron Technical Herbicide, Option 2.25 SC Herbicide, and Option 35 DF. Coordinator Publications. Ottawa, Ontario.
. 19-Parsa M., and Bagheri A. 2008. Pulse crops. Mashhad university Jahad press (in Persian)
20-Peyvastegan S., and Farahbakhsh A. 2011. The Residual Effects of Different Doses of Atrazine+Alachlor and Foramsulfuron on the Growth and Physiology of Rapeseed (*Brassica napus* L). World Academy of Science, Engineering and Technology, 50 : 318 – 323.
21- Russel M.H., Saladin J.L., and Lichtner I. 2002. Sulfonyrea herbicide. Pesticide Outlook. Royal Society of Chemistry .166 – 173.
22- Reinke H., Rosenzweig A., Claus J., Kreidi M., Chisholm C., and Jensen P . 1991. DPX-E9636, experimental sulfonylurea herbicide for potatoes. Brighton Crop Protection Conference –Weeds 4C, 3: 445–451.
23- Rogers S., and Baldock J., 2003. Herbicide link to low legume nitrogen fixation. Farming ahead, 134 : 39-40.
24- R Development Core Team. 2005. R: A language and environment for statistical computing. Vienna,Austria: R Foundation for Statistical Computing.
25- SAS Institute. 2005. The SAS system for Windows. SAS Institute, Cary, NC.
26- S zawoznik M., and Tomaro M. 2005. Effect of chlorimuron-ethyl on Bradyrhizobium japonicum and its symbiosis with soybean. Pest Management Science, 61 :1003 -1008.
27- Sanntin-montanya I., Alonso-pradose L., Villarroya M., and Garcia-Baudin J. M. 2006. Bioassay for determining sensitivity to sulfosulfuron on seven plant species. Journal of Environment Scince and Health, 41: 781-793.
28- Schneiders GE., Koeppe MK., Naidu MV., Horne P., Brown AM., and Mucha C.F. 1993. Fate of rimsulfuron in the environment. Journal of Agriculture Food Chemistry, 41: 2404 – 2410.
29- Singh G., and Wright D. 2002. In vitro studies on the effects of herbicides on the growth of rhizobia. Letters in Applied Microbiology, 35: 12 – 16 .
30-Vidal D., Martinez J., Bergareche C., Miranda A.M., and Simon E. 1992. Effect of methabenzthiazuron on growth and nitrogenase activity in Vicia faba .Plant and Soil, 144: 235 - 245.
31-Wally F., Taylor A., and Lupwayi N. 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.
32-Whitcomb C.M. 1999. An hntroduction to ALS inhibiting herbicides. Toxicology and Industrial health, 15: 232 - 240.
33-Zhou Q., Liu W., Zhang Y., and Liu K. 2007. Review Action mechanisms of acetolactate synthase-inhibiting herbicides . Pesticide Biochemistry and Physiology, 89: 89 – 96.

34-Zand A., Mosavi S.K., and Sadri A. 2008. Herbicides and application methods.Mashhad) (ferdowsi university press (in Persian).