نشریه تولید گیاهان زراعی
جلد یازدهم، شماره دوم، تابستان ۹۷
۱۶۹-۱۸٤
http://ejcp.gau.ac.ir
DOI:

مدل‌سازی برهمکنش دزهای علف‌کش و کود نیتروژن بر تولید زیست‌توده گیاه زراعی و علف‌های هرز در تداخل چندگانه گندم– گونه‌های علف‌هرز

[*]ابوالفضل درخشان[۱]، سید عطاالله سیادت[۲] و عبدالمهدی بخشنده[۳]

[۱]دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، [۲]استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان، [۳]استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹٦/۹/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۸

چکیده

سابقه و هدف: درک برهمکنش بین رقابت گیاه زراعی- علف‌های هرز و دز علف‌کش در بسیاری موارد ممکن است به توصیه کاهش مصرف یک علف‌کش منتج شود که هم از نظر زیست‌محیطی و هم از نظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت است. کود نیتروژن نیز هم از طریق تغییر تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز بر تعادل رقابتی بین گیاهان مؤثر است و هم از نهاده‌هایی است که خود باعث آلودگی محیط‌زیست می‌شود. ازاین‌رو، ارزیابی برهمکنش دز علف‌کش و مصرف کود نیتروژن جهت مدیریت مناسب علف‌های هرز و دستیابی به عملکرد اقتصادی قابل‌قبول همراه با کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی ضروری به‌نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها: آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان انجام شد. کود نیتروژن شامل پنج سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌عنوان کرت اصلی و دز علف‌کش "یدوسولفورون سدیم + مزوسولفورون + مفن‌پایر دی‌اتیل" در شش سطح صفر، ۰/۲، ۰/٤، ۰/٦، ۰/۸ و ۱ برابر دز توصیه‌شده (۱/۵ لیتر در هکتار) به‌عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد. نیمی از کود نیتروژن به‌صورت پیش‌کاشت و نیم دیگر در اواسط مرحله پنجه‌زنی گندم توزیع شد. چهار هفته پس از سم‌پاشی (اواخر مرحله پنجه‌زنی گندم)، نمونه‌برداری تخریبی با استفاده از کادری با مساحت ۰/۲۵ متر مربع از چهار نقطه از هر کرت آزمایشی انجام شد. مجموع زیست‌توده علف‌های هرز و گندم در هر کرت پس از سه روز قرار دادن در آونی با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد توزین شد.

یافته‌ها: پاسخ زیست‌توده علف‌های هرز و گندم به دز علف‌کش به‌ترتیب با مدل‌های دوز- پاسخ و سیگموئید توصیف شد و در واکنش به افزایش مصرف کود نیتروژن توسعه یافت. بر مبنای مدل ترکیبی، دز موردنیاز برای کاهش زیست‌توده علف‌های هرز به کمتر از ۵۰ گرم در مترمربع با مصرف ۱٤۰، ۲۱۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌ترتیب ۱۰۰، ۸۵ و ٦۰ درصد دز توصیه شده پیش‌بینی شد. همچنین، دستیابی به حدود ۷۰۰ گرم زیست‌توده گندم در مترمربع با کاربرد ۲۳۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به‌همراه ۱۰۰ درصد دز توصیه شده علف‌کش یا کاربرد ۲۷۰

[*]مسئول مکاتبه: derakhshan.abo@gmail.com

کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و ٦٠ درصد دز توصیه شده علف‌کش و یا کاربرد ۳۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ٤٠ درصد دز توصیه شده علف‌کش ممکن بود.

نتیجه‌گیری: افزایش توان رقابتی علف‌های هرز در پاسخ به افزایش مصرف نیتروژن به افت بیشتر زیست‌توده گندم در سطوح بالاتر مصرف کود منتج شد. کاربرد علف‌کش در سطوح بالاتر مصرف کود که توان رقابتی علف‌های هرز در این شرایط بسیار بیشتر از سطوح کم مصرف کود بود، با افزایش بیشتری در زیست توده گندم همراه بود. افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی منجر به توسعه نظام‌های زراعی با ورودی کم (مصرف کم کود و علف‌کش) شده است. با این‌حال، نتایج ما نشان داد که علف‌های هرزی که در سطوح کم نیتروژن رشد کردند نسبت به علف‌کش مورد ارزیابی بسیار متحمل‌تر از بوته‌های رشد یافته در سطوح بالاتر مصرف کود بودند.

واژه‌های کلیدی: آتلانتیس ا. دی؛ دوز- پاسخ؛ مدل سیگموئید؛ مدل نمایی

مقدمه

کشاورزان باید به‌طور مداوم با تداخل علف‌های هرز در محصولات زراعی خود مقابله کنند و اهمیت این موضوع در میزان نیروی کارگری، خاک‌ورزی و علف‌کش مورد استفاده برای کنترل آن‌ها منعکس می‌گردد. ظهور علف‌کش‌ها به‌عنوان یکی از پیشرفت‌های مهم در بخش کشاورزی شناخته می‌شود. علف‌کش‌ها در حال حاضر در حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد از هزینه‌های ورودی نظام‌های کشت زراعی را شامل می‌شوند (٤). باوجود پذیرش گسترده علف‌کش‌ها توسط کشاورزان، علاقه روزافزونی به کاهش دز علف‌کش‌ها و به‌طور کل، مصرف علف‌کش‌ها وجود دارد. قیمت پایین محصولات زراعی، افزایش آگاهی در مورد تأثیر منفی آفت‌کش‌ها بر محیط‌زیست و سلامت انسان (۲۳) و تکامل مقاومت به علف‌کش‌ها در علف‌های هرز (۱۰) و به‌تبع آن افزایش هزینه‌های تولید از جمله مسائلی هستند که تولیدکنندگان کشاورزی را مجبور به بازبینی در نحوه مدیریت علف‌های هرز می‌کند.

پژوهش‌های قابل‌توجهی در مورد پتانسیل کاربرد دوزهای کمتر از برچسب علف‌کشی انجام شده است (۱۲؛ ۱۷؛ ۲٦). ژانگ و همکاران (۲۰۰۰) چند دلیل برای پتانسیل استفاده موفق از دوزهای کاهش‌یافته علف‌کش ذکر کردند: (ا) دز ثبت‌شده علف‌کش با هدف اطمینان از کنترل مطلوب طیف وسیعی از علف‌های هرز، تراکم‌ها و مراحل رشدی آن‌ها در شرایط مختلف محیطی تنظیم شده است؛ (ب) حداکثر کنترل علف‌های هرز همیشه برای دستیابی به عملکردهای بهینه گیاه زراعی ضروری نیست و (ج) ترکیب دوزهای کاهش یافته علف‌کش‌ها با روش‌های مدیریتی دیگر مانند خاک‌ورزی یا انتخاب گونه‌های زراعی قابل رقابت می‌تواند احتمال کنترل علف‌های هرز را به میزان قابل توجهی افزایش دهد (۲٦). کنترل مطلوب علف‌های هرز با دوزهای کاهش‌یافته علف‌کش در پژوهش‌های متعددی به اثبات رسیده است (۵؛ ۸؛ ۱۳). برای مثال، بلز و همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که ۵۰ درصد از دز توصیه‌شده علف‌کش ترالکوکسیدیم با کنترل بیش از ۸۵ درصد یولاف زمستانه (*Avena ludoviciana* Durieu.) در جو همراه بود (۱). با وجود گزارش‌های متعدد در مورد کنترل مطلوب علف‌های هرز با دوزهای کاهش‌یافته علف‌کش، مخاطره‌هایی در ارتباط با اتخاذ چنین شیوه‌هایی وجود دارد. برای مثال، روگنکمپ و

همکاران (۲۰۰۰) گزارش کردند که کنترل گاوپنبه (*Abution theophrasti* Medik.) و ارزنی سبز (*Setaria viridis* [L.] Beauv.) با دوزهای کاهش‌یافته آلاکلر و آترازین در ذرت کاملا متغیر و دارای مزیت اقتصادی اندکی بود (۱۹). خطر مرتبط با کاهش دز علف‌کش در غیاب سایر روش‌های مدیریت علف‌های هرز مانند افزایش میزان بذر و انتخاب ارقام قابل رقابت افزایش می‌یابد (٤).

روش‌های مدیریتی که توانایی رقابت گیاه زراعی با علف‌های هرز را افزایش می‌دهد می‌توانند جزء مهمی از نظام‌های مدیریت تلفیقی علف‌های هرز باشند. مدیریت کود یکی از اقداماتی است که می‌تواند تا حد زیادی تداخل گیاه زراعی و علف‌های هرز را تحت تأثیر قرار دهد (۳). نیتروژن ماده مغذی اصلی برای افزایش عملکرد گیاه زراعی است اما تغییر سطوح نیتروژن خاک می‌تواند بر تعامل رقابت گیاه زراعی با علف‌های هرز تأثیر گذارد (۲). بسیاری از علف‌های هرز مقادیر زیادی نیتروژن مصرف می‌کنند (۹)، بنابراین دسترسی نیتروژن برای گیاه زراعی را محدود می‌کنند. علاوه‌بر این، رشد بسیاری از گونه‌های علف‌هرز تحت سطوح بالای نیتروژن خاک افزایش می‌یابد (۲). بنابراین، در نظام‌های کشت زراعی افزودن کود نیتروژن به‌طور بالقوه می‌تواند پیامد ناخواسته افزایش رشد و توان رقابتی علف‌های هرز نسبت به گیاه زراعی را در پی داشته باشد.

درک تعامل بین رقابت گیاه زراعی- علف‌های هرز و دز علف‌کش در بسیاری موارد ممکن است به توصیه کاهش مصرف یک علف‌کش منتج شود که هم از نظر زیست‌محیطی و هم از نظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت است. از طرف دیگر، نیتروژن هم از طریق تغییر تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز بر تعادل رقابتی بین گیاهان مؤثر است و هم از نهاده‌هایی است که خود باعث آلودگی محیط‌زیست می‌شود. از این‌رو، ارزیابی برهمکنش دز علف‌کش و مصرف کود نیتروژن جهت مدیریت مناسب علف‌های هرز و دستیابی به عملکرد اقتصادی قابل‌قبول همراه با کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی ضروری به‌نظر می‌رسد.

بروز مقاومت و عدم کارایی پهن‌برگ‌کش‌هایی مانند تری‌بنورون متیل (٦) و نیز توسعه مقاومت به علف‌کش‌های بازدارنده ACCase در علف‌های هرز باریک‌برگ (۷) باعث شده که در بسیاری از نقاط کشور مصرف علف‌کش‌های دومنظوره به‌ویژه علف‌کش "یدوسولفورون سدیم + مزوسولفورون + مفن‌پایر دی‌اتیل" (با نام تجاری آتلانتیس ا. دی) توصیه گردد. بنابراین، این مطالعه با هدف کمی‌سازی برهمکنش دوزهای کاهش‌یافته این علف‌کش و کود نیتروژن بر زیست‌توده گیاه زراعی و علف‌های هرز در رقابت چندگانه گندم با علف‌های هرز انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹٤-۱۳۹۳ در مزرعه پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ٤ تکرار اجرا شد. کود نیتروژن در پنج سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌عنوان فاکتور اصلی و دز علف‌کش "یدوسولفورون سدیم + مزوسولفورون + مفن‌پایر دی‌اتیل" در شش سطح صفر، ۰/۲، ۰/٤، ۰/٦، ۰/۸ و ۱ برابر دز توصیه‌شده (۱/۵ لیتر در هکتار) به‌عنوان فاکتور فرعی در نظر گرفته شد.

عملیات تهیه بستر شامل انجام شخم با گاوآهن برگردان‌دار و دو مرتبه دیسک عمود بر هم بود. بعد از شخم، کود فسفر موردنیاز برحسب نتایج آزمون خاک توزیع شد (جدول ۱). سپس، گندم (رقم چمران)

به‌صورت دستی در تاریخ اول آذر در کرت‌های فرعی به طول ۳ متر روی ۱۵ ردیف کاشت با فواصل ۱۷ سانتی‌متر کشت شد. در هر تکرار آزمایش، بین کرت‌های فرعی یک متر و بین کرت‌های اصلی دو متر فاصله در نظر گرفته شد. پس از سبز شدن گندم، تعداد بوته‌ها در روی ردیف‌های کاشت طوری تنظیم شد که تراکم نهایی معادل ۳۵۰ بوته در مترمربع به دست آید. نیمی از کود نیتروژن به‌صورت پیش‌کاشت و نیم دیگر در اواسط مرحله پنجه‌زنی گندم توزیع شد. سم‌پاشی توسط دستگاه سم‌پاش پشتی شارژی مدل Matabi با نازل پلی‌جت در فشار ثابت ۲ اتمسفر در اواخر مرحله پنجه‌زنی گندم انجام شد. چهار هفته پس از سم‌پاشی، نمونه‌برداری تخریبی با استفاده از کادری با مساحت ۰/۲۵ مترمربع از چهار نقطه از هر کرت آزمایشی انجام شد. تراکم هر یک از گونه‌های علف‌هرز در هر کادر شمارش شد. سپس، مجموع زیست‌توده علف‌های هرز و گندم در هر کرت پس از سه روز قرار دادن در آونی با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد توزین شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش.

Table 1. Physical and chemical characteristics of the soil at study location.

درصد تن	درصد سیلت	درصد رس	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	فسفر (میلی‌گرم در کیلوگرم)	درصد نیتروژن	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	P (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	N (%)	pH	EC (dS m^{-1})
12	40	48	158	5.80	0.07	7.32	1.67

رابطه بین مجموع زیست‌توده علف‌های هرز (W) و دز علف‌کش (dose) در هر سطح از مصرف کود نیتروژن با استفاده از مدل دوز- پاسخ زیر توصیف شد (۲۱):

$$W=\frac{W_0}{1+\exp\left(b\left(\ln(dose)-\ln(ED_{50})\right)\right)} \quad (۱)$$

که W_0، مجموع زیست‌توده علف‌های هرز در شرایط آلوده به علف‌هرز یا تیمار بدون کاربرد علف‌کش (گرم در مترمربع)؛ b، شیب منحنی دوز- پاسخ و ED_{50}؛ دز مؤثر موردنیاز (برحسب نسبت از دز توصیه‌شده علف‌کش) برای ۵۰ درصد کاهش زیست‌توده علف‌های هرز هستند. سپس، با ارزیابی روابط مختلف تغییرات هر یک از پارامترهای مدل دوز- پاسخ با افزایش مصرف کود نیتروژن بررسی و معادله مناسبی برای توصیف آن انتخاب شد. رابطه بین زیست‌توده گندم (Y) و دز علف‌کش با استفاده از مدل سیگموئید زیر توصیف شد:

$$Y=Y_{wi}+\frac{Y_{wf}-Y_{wi}}{1+\exp\left(-\frac{dose-CD_{50}}{B}\right)} \quad (۲)$$

که Y_{wi}، زیست‌توده گندم در شرایط آلوده به علف‌هرز (گرم در مترمربع)؛ Y_{wf}، زیست‌توده گندم در شرایط عاری از علف‌هرز؛ CD_{50}، دز علف‌کش موردنیاز برای ۵۰ درصد کاهش اثر رقابتی علف‌های هرز یا دوزی که در آن زیست‌توده گندم نیمی از حداکثر زیست‌توده به‌دست آمده در شرایط عاری از علف‌هرز است و B، شیب منحنی سیگوئیدی را نشان می‌دهد. سپس، با ارزیابی روابط مختلف تغییرات هر یک از پارامترهای این مدل با افزایش مصرف کود نیتروژن بررسی و معادله مناسبی برای توصیف آن انتخاب شد. رابطه بین زیست‌توده گندم و علف‌های هرز با استفاده از مدل زیر توصیف شد:

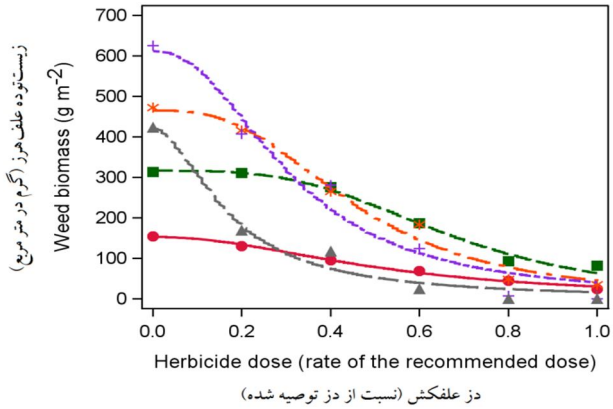
$$Y=\frac{Y_{wf}}{(1+\mu\times W)} \quad (۳)$$

که در این رابطه μ، توان رقابتی علف‌های هرز در برابر گیاه زراعی را نشان می‌دهد. برازش مدل‌ها با

استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 و رویه PROC NLIN انجام شد. نمودارها نیز با استفاده از همین نرم‌افزار و رویه‌های PROC TEMPLATE و PROC SGRENDER ترسیم شدند.

نتایج و بحث

زیست‌توده علف‌هرز: زیست‌توده علف‌های هرز در همه سطوح مصرف نیتروژن در پاسخ به افزایش دز علف‌کش کاهش یافت. برازش منحنی دوز- پاسخ به تغییرات زیست‌توده علف‌های هرز با افزایش دز علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل + مفن‌پایر دی‌اتیل" در هر سطح از مصرف کود نیتروژن در شکل ۱ و پارامترهای برآورد شده در جدول ۲ ارائه‌شده است. زیست‌توده علف‌های هرز در شرایط آلوده به علف‌هرز (W_0) با افزایش مصرف کود نیتروژن افزایش یافت، به‌طوری‌که از حدود ۱۹۳ گرم در مترمربع در تیمار بدون مصرف کود به حدود ٦١١ گرم در مترمربع در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار رسید. با این‌حال، مصرف بیشتر کود نیتروژن (۳۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار) منجر به کاهش زیست‌توده علف‌های هرز در شرایط آلوده به علف‌هرز شد (جدول ۲). رابطه کوآدراتیک ($W_0=\gamma+\beta N+\alpha N^2$) در حدود ۹۹ درصد از تغییرات W_0 در پاسخ به تغییر میزان مصرف کود را توجیه کرد (شکل ۲). بر اساس این رابطه، حداکثر زیست‌توده علف‌های هرز در شرایط آلوده به علف‌هرز با مصرف ۲۱۵/۷٦ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌دست آمد (شکل ۲). مقادیر خطای استاندارد نشان داد که میان سطوح مختلف مصرف نیتروژن اختلاف معنی‌داری از نظر برآورد پارامتر B وجود نداشت (جدول ۲). از این‌رو، میانگین برآورد این پارامتر در سطوح مختلف مصرف کود در مدل نهایی به‌کار رفت. دز موردنیاز برای ۵۰ درصد کاهش زیست‌توده علف‌های هرز (ED_{50}) در شرایط بدون مصرف کود معادل ۵۱ درصد از دز توصیه‌شده علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل + مفن‌پایر دی‌اتیل" بود که با افزایش مصرف کود به ۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار به ٦٧ درصد از دز توصیه‌شده این علف‌کش رسید (جدول ۲). با این‌حال، مصرف بیشتر کود نیتروژن منجر به کاهش ED_{50} شد و در سطح مصرف ۳۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار به ۱۷ درصد از دز توصیه‌شده علف‌کش رسید. رابطه بین ED_{50} و میزان مصرف کود نیتروژن با استفاده از یک رابطه نمایی ($ED_{50}=lm^N$) توصیف شد (شکل ۳). این رابطه در حدود ۷۸ درصد از تغییرات ED_{50} در پاسخ به تغییر میزان مصرف کود را توجیه کرد و تجزیه واریانس رگرسیون از نظر آماری معنی‌دار بود. لازم به ذکر است که رابطه بین ED50 و نیتروژن در ابتدا با استفاده از مدل‌های رگرسیون ساده خطی و کوآدراتیک ارزیابی شد اما قدرت این دو مدل در توصیف این رابطه کمتر از مدل نمایی بود.



شکل ۱- منحنی دوز- پاسخ برازش داده‌شده به زیست‌توده علف‌های هرز در برابر دوزهای کاهش‌یافته علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" در سطوح مصرف صفر (●)، ۵۰ (■)، ۱۰۰ (✱)، ۲۰۰ (+) و ۳۵۰ (▲) کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن.

Figure 1. The dose-response curve fitted to weed biomass versus the reduced dosages of “iodosulfuron-methyl sodium + mesosulfuron methyl + mefenpyr-diethyl” herbicide in application levels of 0 (●), 50 (■), 100 (✱), 200 (+) and 350 (▲) Kg ha^{-1} nitrogen fertilizer.

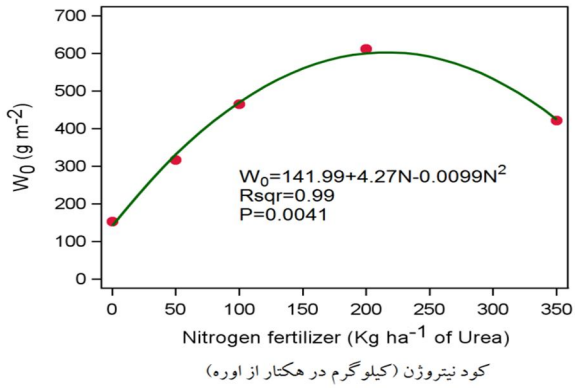
جدول ۲- پارامترهای مدل دوز- پاسخ برازش داده‌شده به زیست‌توده علف‌های هرز در برابر دوزهای کاهش‌یافته علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" در هر سطح از مصرف کود نیتروژن.

Table 2. Parameters of the dose-response model fitted to weed biomass versus reduced doses of “iodosulfuron-methyl sodium + mesosulfuron methyl + mefenpyr-diethyl” herbicide at each level of nitrogen fertilizer consumption.

کود نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen fertilizer (kg ha^{-1})	Parameter± Standard Error of Estimate			R^2	P
	W_0 (g m^{-2})	B	ED_{50}		
0	152.93±4.90	2.09±0.22	0.51±0.03	0.99	0.0005
50	316.43±11.83	3.39±0.53	0.67±0.03	0.99	0.0015
100	465.55±26.19	2.82±0.53	0.45±0.04	0.98	0.0019
200	611.49±48.29	2.26±0.60	0.31±0.05	0.97	0.0063
350	421.48±31.93	1.81±0.55	0.17±0.04	0.98	0.0035

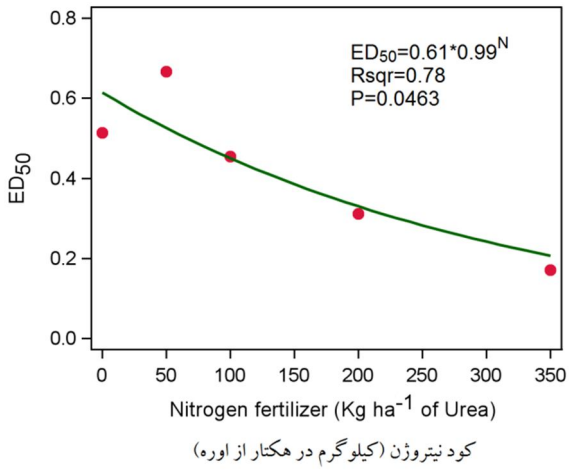
W_0، B و ED_{50} به‌ترتیب زیست‌توده علف‌های هرز در شرایط آلوده به علف‌هرز، شیب منحنی دوز- پاسخ و دز علف‌کش موردنیاز برای ۵۰ درصد کاهش زیست‌توده علف‌های هرز را نشان می‌دهند.

W0, B and ED50, respectively, show the weed biomass in infested conditions, slope of the dose-response curve and the herbicide dose required for 50% reduction in weed biomass.



شکل ۲- تغییرات زیست‌توده علف‌های هرز در شرایط آلوده به علف‌هرز (W_0) در پاسخ به افزایش مصرف کود نیتروژن. خط مدل کوآدراتیک برازش داده شده به مقادیر W_0 در پاسخ به تغییر میزان مصرف کود را نشان می‌دهد.

Figure 2. Changes of the weeds biomass in infested conditions (W_0) in response to increased nitrogen fertilizer consumption. Line shows the quadratic model fitted to values of W_0 in response to changes in fertilizer consumption.



شکل ۳- تغییرات دز مورد نیاز برای ۵۰ درصد کاهش زیست‌توده علف‌های هرز (ED_{50}) در پاسخ به افزایش مصرف کود نیتروژن. خط مدل نمایی برازش داده شده به مقادیر ED_{50} در پاسخ به تغییر میزان مصرف کود را نشان می‌دهد.

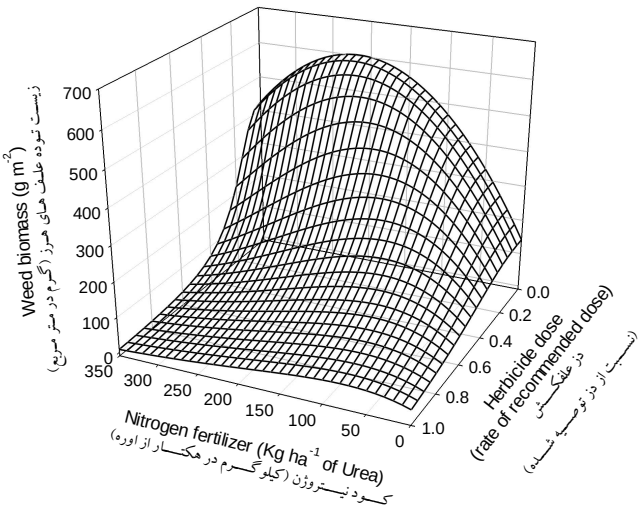
Figure 3. Changes of the dose required for 50% reduction of weed biomass (ED_{50}) in response to increased nitrogen fertilizer consumption. Line shows the Exponential model fitted to values of ED_{50} in response to changes in fertilizer consumption.

با جایگذاری روابط کوآدراتیک و نمایی توصیف‌کننده تغییرات W_0 و ED_{50} در پاسخ به افزایش مصرف کود نیتروژن و میانگین برآورد B در سطوح مختلف مصرف کود به‌جای پارامترهای مذکور در مدل دوز- پاسخ (رابطه ۱)، مدل نهایی برای توصیف تغییرات زیست‌توده علف‌های هرز در پاسخ به برهمکنش دز علف‌کش و کود نیتروژن به شکل زیر به‌دست آمد:

$$W=\frac{\gamma+\beta N+\alpha N^2}{1+\exp\left(\overline{B}\times\left(\ln(dose)-\ln\left(lm^N\right)\right)\right)} \qquad (٤)$$

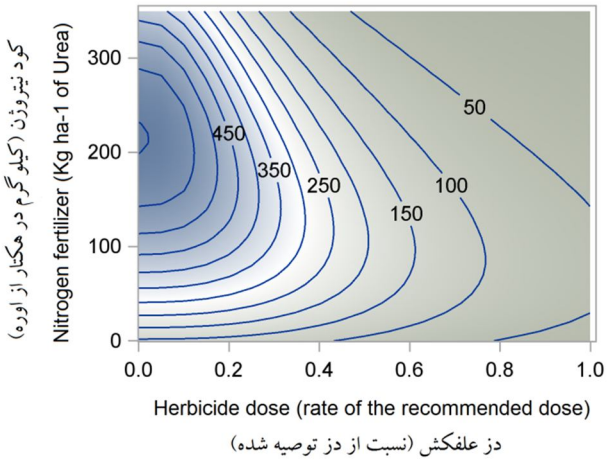
پیش‌بینی مجموع زیست‌توده علف‌های هرز در پاسخ به برهمکنش دز علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" و کود نیتروژن با استفاده از این رابطه در قالب نمودارهای سه‌بعدی (شکل ٤) و کانتور (شکل ٥) ارائه‌شده است. بر اساس پیش‌بینی مدل ترکیبی، کمترین زیست‌توده علف‌های هرز در شرایط مصرف توأم مقادیر بیشتر کود نیتروژن و کاربرد دوزهای بالاتر علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" به‌دست آمد. درحالی‌که، زیست‌توده علف‌های هرز در شرایط عدم سم‌پاشی و مصرف مقادیر متوسط سطوح کودی مورد ارزیابی در حداکثر بود (شکل ٤). مجموع زیست‌توده علف‌های هرز با افزایش دز علف‌کش "یدوسولفورون-متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" در تمام سطوح مصرف کود کاهش یافت، اما دوزهای کمتری از این علف‌کش جهت به حداقل رساندن زیست‌توده علف‌های هرز در سطوح بالاتر مصرف کود لازم بود. برای مثال، زیست‌توده علف‌های هرز با کاربرد نیمی از دز توصیه‌شده علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" در شرایط مصرف صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌ترتیب در حدود ۸۸/۷۱، ۱۷۵/۸۱، ۲۰٤/۹۰، ۱۹۳/۰٤، ۱۵۸/۳٦، ۱۱۵/۹٦، ۷۵/۸۹ و ٤۳/۱۵ گرم در مترمربع پیش‌بینی شد (شکل ٤). هر یک از خطوط نمودار کانتور دز موردنیاز از علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل " برای کاهش

زیست‌توده علف‌های هرز به کمتر از یک حد معین را در شرایط مدیریت متفاوت کود نیتروژن نشان می‌دهد. بر این اساس، جهت کاهش زیست‌توده علف‌های هرز به کمتر از ۵۰ گرم در مترمربع در شرایط مصرف صفر، ۱۴۰، ۲۱۰ و ۳۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌ترتیب دز علف‌کشی برابر یا بیشتر از ۸۰، ۱۰۰، ۸۵ و ۶۰ درصد از دز توصیه‌شده علف‌کش لازم بود (شکل ۵).



شکل ٤- پیش‌بینی زیست‌توده علف‌های هرز در رقابت با گندم تحت تأثیر دوزهای کاهش‌یافته علف‌کش "یدوسولفورون-متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل"و کود نیتروژن.

Figure 4. Predicted biomass of weeds in competition with wheat as affected by reduced doses of “iodosulfuron-methyl sodium + mesosulfuron methyl + mefenpyr-diethyl” herbicide and nitrogen fertilizer.



شکل ۵- دز علف‌کش "یدوسولفورون-متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" موردنیاز برای کاهش زیست‌توده علف‌های هرز به یک سطح معین برای سطوح مختلف مصرف کود نیتروژن.

Figure 5. The required dosage of “iodosulfuron-methyl sodium + mesosulfuron methyl + mefenpyr-diethyl” herbicide to reduce the weed biomass to a given level for different levels of nitrogen fertilizer consumption.

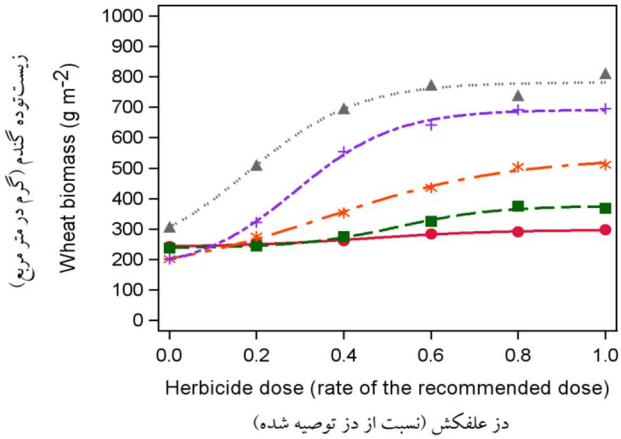
نتایج ما نشان داد که مجموع زیست‌توده علف‌های هرز در متر مربع در رقابت چندگانه با گندم در شرایط بدون کاربرد علف‌کش در پاسخ به افزایش مصرف کود نیتروژن تا یک حد معین (۲۰۰ کیلوگرم

اوره در هکتار) افزایش و با مصرف مقادیر بیشتر از این حد کاهش یافت. لازم به ذکر است که کاهش زیست‌توده علف‌های هرز در شرایط مصرف ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌دلیل کاهش قابل‌توجه تراکم بوته علف‌های هرز در واحد سطح بود. به عبارتی، هرچند که زیست‌توده تک بوته علف‌های هرز با مصرف این مقدار کود نسبت به مصرف مقادیر کمتر به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافت اما تأثیر منفی چشمگیری بر ظهور علف‌های هرز در مزرعه داشت (داده‌ها نشان داده نشده است). افزایش زیست‌توده و توان رقابتی علف‌های هرز در مقایسه با گیاه زراعی در پاسخ به افزایش مصرف کود نیتروژن در ارزیابی رقابت گندم با علف‌های هرزی مانند بی‌تی‌راخ (*Galium aparine* L.)، یولاف وحشی (*Avena fatua* L.) (۲٤) و علف پشمکی (*Bromus sterilis* L.) (۱۵) گزارش شده است. مشابه با نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، کاهش تراکم و افزایش مجموع زیست‌توده علف‌های هرز در پاسخ به افزایش فراهمی عناصر غذایی گزارش شده است (۱٦). در این پژوهش، افزایش مصرف کود نیتروژن با کاهش نمایی ED_{50} همراه بود. سازوکارهای بالقوه برای این رابطه را می‌توان توسط دریافت (interception)، ماندگاری (retention)، جذب شاخساره‌ای و انتقال علف‌کش توضیح داد. حاصلخیزی بیشتر می‌تواند جذب و ماندگاری علف‌کش روی برگ‌ها را افزایش دهد (۱٤). مصرف کود نیتروژن ممکن است طول کرک و مقدار موم اپیکوتیکولی روی برگ‌ها را تغییر دهد که این سازوکار می‌تواند جذب علف‌کش را به‌طور غیرمستقیم با تأثیر بر تر شوندگی (wettability) برگ تحت تأثیر قرار دهد (۲۰). از آنجایی‌که نفوذ مواد خارجی مضر به درون برگ‌های جوان بیشتر از برگ‌های پیر است، سطوح نیتروژن ممکن است بر ترکیب کوتیکول و جذب علف‌کش تأثیر گذارد (۱۱).

با افزایش میزان کاربرد نیتروژن، میزان اسیمیلات‌ها و انتقال آن‌ها و در نتیجه انتقال علف‌کش افزایش می‌یابد (۲۵). در پژوهش حاضر، بوته‌های علف‌هرز به‌دلیل کوچک ماندن و خشبی شدن در شرایط عدم مصرف کود اوره و یا سطوح اندک آن و در نتیجه جذب و انتقال کاهش یافته علف‌کش، کمتر تحت تأثیر کاربرد علف‌کش قرار گرفتند. گزارش‌شده است که دوز- پاسخ علف‌کش برای کلزا (به‌عنوان علف‌هرز مدل) در شرایط تک‌کشتی تحت تأثیر مصرف نیتروژن قرار نگرفت، یعنی ED_{50} و B با تغییر مصرف نیتروژن ثابت بود (۱٤). اما، دوز- پاسخ علف‌کش این گیاه در شرایط رقابت با گندم به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر سطوح مصرف نیتروژن قرار گرفت (۱۳). ازاین‌رو، به‌نظر می‌رسد که افزایش مصرف کود نیتروژن در رقابت گیاه زراعی- علف‌های هرز می‌تواند از طریق فراهم ساختن شرایط مناسب برای عمل بهتر علف‌کش و ایجاد شرایط نامناسب برای رشد مجدد علف‌های هرز سم‌پاشی شده با علف‌کش منجر به تغییر دوز- پاسخ علف‌کش و کاهش ED_{50} گردد. این بدان معنی است که دوزهای کاهش‌یافته علف‌کش سرعت رشد علف‌های هرز را کاهش می‌دهد و رقابت نامتقارنی به نفع گیاه زراعی ایجاد می‌کند. هنگام سم‌پاشی مزرعه که علف‌های هرز کوچکتر از گندم بودند، نفوذ نور به درون سایه‌انداز در سطوح بالاتر مصرف علف‌کش به شدت کاهش یافت. در این شرایط، توان رقابتی علف‌های هرز تیمار شده با دوزهای کاهش‌یافته علف‌کش می‌تواند به‌دلیل افزایش سایه‌اندازی ناشی از رشد بهتر گیاه زراعی با افزایش مصرف کود به‌شدت کاهش یابد.

زیست‌توده گندم: زیست‌توده گندم در رقابت با علف‌های هرز در پاسخ به افزایش دز علف‌کش "یدوسولفورون-متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" در سطوح مختلف مصرف کود

نیتروژن به‌طور متفاوتی افزایش یافت. مدل سیگموئیدی چهار پارامتری (رابطه ۲) به‌خوبی این روند را توصیف کرد (شکل ٦)، به‌طوری‌که زیست‌توده گندم را برای سطوح مختلف مصرف کود با کمترین خطا پیش‌بینی کرد و تجزیه واریانس رگرسیون برای همه سطوح کودی معنی‌دار بود (جدول ۳). بر اساس پیش‌بینی‌های این مدل، زیست‌توده گندم در شرایط عاری از علف‌هرز (Y_{wf}) در پاسخ به افزایش مصرف کود نیتروژن افزایش و دز مورد نیاز برای حفظ نیمی از حداکثر زیست‌توده به‌دست‌آمده در شرایط عاری از علف‌هرز (CD_{50}) با افزایش مصرف کود کاهش یافت (جدول ۳). با این‌حال، زیست‌توده گندم در شرایط آلوده به علف‌هرز (Y_{wi}) و شیب منحنی سیگموئیدی (B) تحت تأثیر سطوح مصرف کود نیتروژن قرار نگرفت (جدول ۳). تغییرات Y_{wf} و CD_{50} در پاسخ به تغییر مصرف کود نیتروژن با برازش روابط رگرسیونی مختلف ارزیابی و برای هر یک مدل مناسبی بر اساس ضریب تبیین برازش خط و معنی‌دار بودن تجزیه واریانس رگرسیون و پارامترها انتخاب شد (شکل ۷).



شکل ٦- منحنی سیگموئیدی برازش داده‌شده به زیست‌توده گندم در پاسخ به افزایش دز علف‌کش "یدوسولفورون-متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" در سطوح مصرف صفر (●)، ۵۰ (■)، ۱۰۰ (✱)، ۲۰۰ (+) و ۳۵۰ (▲) کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن.

Figure 6. Sigmoid curve fitted to wheat biomass in response to increased doses of “iodosulfuron-methyl sodium + mesosulfuron methyl + mefenpyr-diethyl” herbicide in consumption levels of 0 (●), 50 (■), 100 (✱), 200 (+) and 350 (▲) Kg ha^{-1} nitrogen fertilizer.

جدول ۳- پارامترهای مدل سیگموئید برازش داده‌شده به زیست‌توده گندم در برابر دوزهای کاهش‌یافته علف‌کش "یدوسولفورون-متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" در هر سطح از مصرف کود نیتروژن.

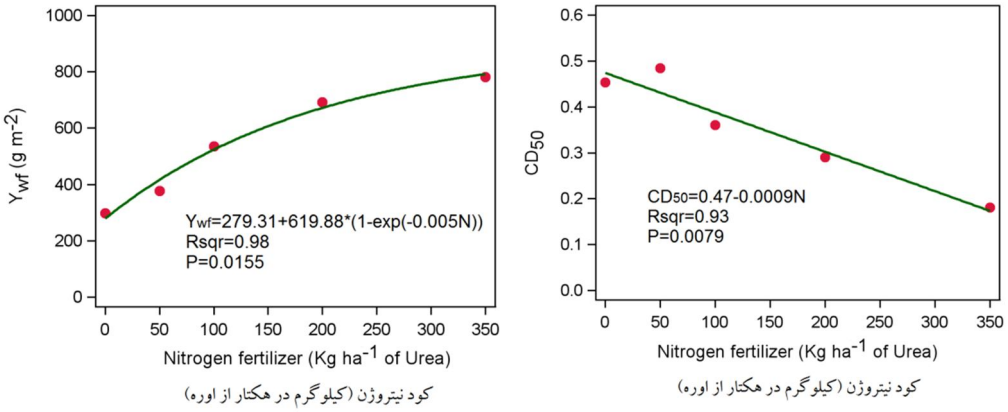
Table 3. Parameters of the sigmoid model fitted to wheat biomass weeds versus reduced doses of “iodosulfuron-methyl sodium + mesosulfuron methyl + mefenpyr-diethyl” herbicide at each level of nitrogen fertilizer consumption.

Nitrogen fertilizer (Kg ha^{-1})	Parameter± Standard Error of Estimate				R^2	P
	Y_{wf} (g.m^{-2})	Y_{wi}(g.m^{-2})	CD_{50}	B		
0	297.84±4.02	241.25±5.11	0.45±0.04	0.15±0.05	0.99	0.0114
50	376.89±9.45	238.12±8.62	0.48±0.03	0.11±0.03	0.99	0.0125
100	535.72±23.59	143.65±52.49	0.36±0.03	0.21±0.06	0.99	0.0057
200	692.03±11.19	161.58±29.99	0.29±0.02	0.11±0.02	0.99	0.0031
350	782.20±26.57	194.28±73.74	0.18±0.03	0.13±0.05	0.98	0.0199

Y_{wf}، Y_{wi}، CD_{50} و B به ترتیب زیست‌توده گندم در شرایط عاری و آلوده به علف‌هرز، دز مورد نیاز برای حفظ نیمی از حداکثر زیست‌توده گندم در شرایط عاری از علف‌هرز و شیب منحنی سیگموئیدی را نشان می‌دهند.

W0, B and ED50, respectively, shows the wheat biomass in weed-free and weed-infested conditions, the dose required to maintain 50% of the maximum wheat biomass in weed free conditions and slope of the sigmoid curve.

تغییرات Y_{wf} در پاسخ به افزایش مصرف نیتروژن با استفاده از یک رابطه نمایی افزایشی ($Y_{wf}=Y_{wf0}+\alpha(1-\exp(-\beta N))$) توصیف شد (شکل ۷A). این رابطه در حدود ۹۸ درصد از تغییرات Y_{wf} با افزایش مصرف کود نیتروژن را توجیه کرد. بر اساس پیش‌بینی این مدل، Y_{wf} در شرایط بدون مصرف کود (Y_{wf0}) معادل ۲۷۹/۳۱ گرم در متر مربع برآورد شد که با افزایش مصرف کود نیتروژن به‌صورت نمایی افزایش و به حدود ۷۹۲ گرم در متر مربع در شرایط مصرف ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار رسید. مقادیر CD_{50} از حدود ٤٥ درصد از دز توصیه‌شده علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" در شرایط بدون مصرف کود به حدود ۱۸ درصد از دز توصیه‌شده این علف‌کش در شرایط مصرف ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار کاهش یافت. تغییرات CD_{50} در پاسخ به افزایش مصرف نیتروژن با رگرسیون ساده خطی ($CD_{50}=\gamma+\mu N$) توصیف شد (شکل ۷B). این رابطه در حدود ۹۳ درصد از تغییرات CD_{50} با افزایش مصرف نیتروژن را توجیه کرد. بر اساس این رابطه، CD_{50} در شرایط بدون مصرف کود معادل ٤٧ درصد از دز توصیه شده علف‌کش پیش‌بینی شد که به ازاء هر واحد افزایش مصرف کود معادل ۰/۰۹ درصد کاهش یافت (شکل ۷B).



شکل ۷- تغییرات Y_{wf} (زیست‌توده گندم در شرایط عاری از علف‌هرز) (A) و CD_{50} (دز موردنیاز برای حفظ نیمی از حداکثر زیست‌توده به‌دست‌آمده در شرایط عاری از علف‌هرز) (B) در پاسخ به افزایش مصرف کود نیتروژن.

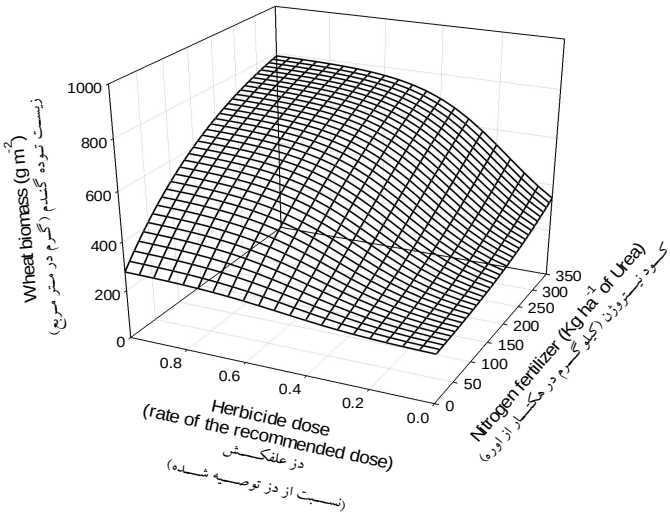
Figure 7. Changes of Y_{wf} (wheat biomass under weed-free conditions) (A) and CD_{50} (the dose required to maintain 50% of the maximum biomass obtained in weed-free conditions) (B) in response to increased nitrogen fertilizer consumption.

با جایگذاری متوسط Y_{wi} و B در سطوح مختلف مصرف نیتروژن و روابط توصیف‌کننده تغییرات Y_{wf}و CD_{50} در پاسخ به افزایش مصرف نیتروژن به‌جای پارامترهای مذکور در مدل سیگموئیدی توصیف‌کننده رابطه بین زیست‌توده گندم و دز علف‌کش، مدل نهایی برای توصیف تغییرات زیست‌توده گندم تحت تأثیر برهمکنش دز علف‌کش و کود نیتروژن به شکل زیر به‌دست آمد:

$$\bar{Y}_{wi}+\frac{\left(Y_{wf0}+\alpha(1-\exp(-\beta N))\right)-\bar{Y}_{wi}}{1+\exp\left(-\frac{dose-(\gamma+\mu N)}{B}\right)} \qquad (۵)$$

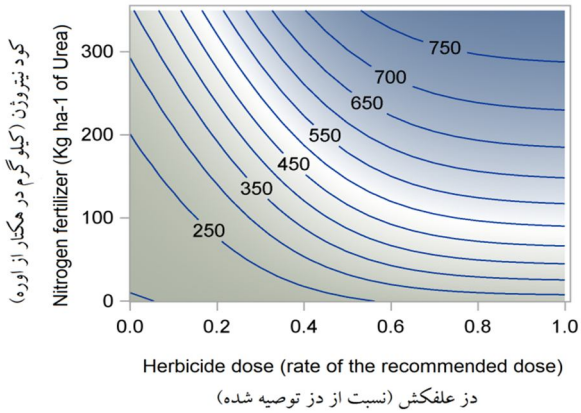
پیش‌بینی زیست‌توده گندم در پاسخ به برهمکنش دز علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" و کود نیتروژن

با استفاده از این رابطه در قالب نمودار سه‌بعدی ارائه‌شده است (شکل ۸). بر اساس پیش‌بینی این مدل، زیست‌توده گندم در شرایط مصرف مقادیر بیشتر کود نیتروژن و دوزهای بالاتر علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" در حداکثر و در شرایط مصرف مقادیر کم کود نیتروژن در حداقل بود. همچنین، در شرایط مصرف مقادیر بالاتر کود نیتروژن تندی کاهش زیست‌توده گندم در اثر رقابت با علف‌های هرز با کاربرد دوزهای کاهش یافته علف‌کش شدیدتر از شرایط مصرف مقادیر کم نیتروژن بود (شکل ۸). دز موردنیاز از علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" برای دستیابی به میزان معینی از زیست‌توده گندم تحت تأثیر رقابت علف‌های هرز در شرایط متفاوت مدیریت کود نیتروژن در قالب نمودار کانتور در شکل ۹ ارائه شده است. بر اساس پیش‌بینی مدل ترکیبی، دستیابی به زیست‌توده‌ای در حدود ۷۰۰ گرم در مترمربع با کاربرد ۲۳۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به‌همراه ۱۰۰ درصد دز توصیه شده علف‌کش یا کاربرد ۲۷۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و ۶۰ درصد دز توصیه شده علف‌کش و یا کاربرد ۳۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار با ۴۰ درصد دز توصیه شده علف‌کش مقدور بود (شکل ۹).



شکل ۸- پیش‌بینی زیست‌توده گندم در شرایط رقابت با علف‌های هرز تحت تأثیر دوزهای کاهش‌یافته علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل"و کود نیتروژن.

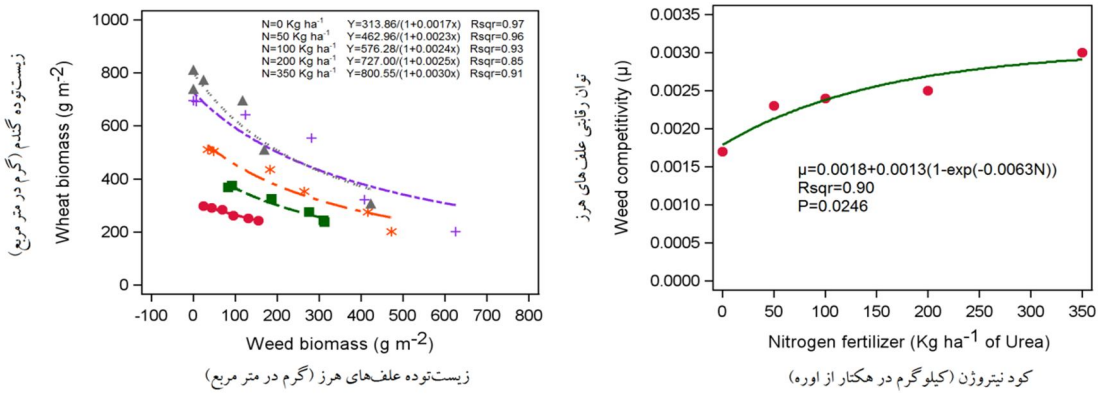
Figure 8. Prediction of wheat biomass under competition with weeds as affected by reduced doses of “iodosulfuron-methyl sodium + mesosulfuron methyl + mefenpyr-diethyl” herbicide and nitrogen fertilizer.



شکل ۹- دز علف‌کش "یدوسولفورون- متیل سدیم + مزوسولفورون متیل+ مفن‌پایر دی‌اتیل" و میزان نیتروژن موردنیاز برای حفظ سطح معینی از زیست‌توده گندم در شرایط رقابت با علف‌های هرز.

Figure 9. Herbicide dosage of “iodosulfuron-methyl sodium + mesosulfuron methyl + mefenpyr-diethyl” and nitrogen rates required to maintain a certain level of wheat biomass under competition with weeds.

رابطه بین زیست‌توده علف‌های هرز و گندم در هر سطح از مصرف کود نیتروژن با استفاده از مدل هذلولی راست‌گوشه توصیف شد (شکل ۱۰A). پارامتر μ در این مدل توانایی رقابتی علف‌های هرز در برابر گیاه زراعی و عکس این پارامتر زیست‌توده‌ای از علف‌های هرز که در شرایط رقابت منجربه ۵۰ درصد افت زیست‌توده گیاه زراعی می‌شود را نشان می‌دهد (۵). پارامتر μ برای سطوح مختلف مصرف نیتروژن به‌طور متفاوتی برآورد شد (شکل ۱۰A). تغییرات μ در پاسخ به افزایش مصرف کود نیتروژن با استفاده از یک رابطه نمایی افزایشی توصیف شد (شکل ۱۰B). بر اساس این رابطه، پارامتر μ برای شرایط بدون مصرف کود معادل ۰/۰۰۱۸ برآورد شد و در شرایط مصرف ۳۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به ۰/۰۰۲۹ رسید. بر این اساس، در شرایط بدون مصرف کود در حدود ۵۵۵ گرم در مترمربع زیست‌توده علف‌هرز برای ۵۰ درصد افت زیست‌توده گیاه زراعی لازم بود و با افزایش مصرف کود نیتروژن تا ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار به حدود ۳۳۸ گرم در مترمربع کاهش یافت.



شکل ۱۰- مدل هذلولی راست‌گوشه برازش داده شده به زیست‌توده گندم در برابر زیست‌توده علف‌های هرز در سطوح مصرف صفر (●)، ۵۰ (■)، ۱۰۰ (✱)، ۲۰۰ (+) و ۳۵۰ (▲) کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (A) و تغییرات ضریب رقابتی علف‌های هرز (μ) با افزایش مصرف کود نیتروژن.

Figure 10. Rectangular hyperbolic model fitted to wheat biomass against weeds biomass in consumption levels of 0 (●), 50 (■), 100 (✱), 200 (+) and 350 (▲) Kg.ha^{-1} nitrogen fertilizer (A) and changes of weed competitivity (μ) coefficient with increasing nitrogen fertilizer consumption.

زیست‌توده گندم در شرایط مصرف مقادیر کم نیتروژن به‌طور قابل‌توجهی پایین بود. برای دستیابی به عملکردهای بهینه در گندم بسته به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و گیاه زراعی پیشین بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار نیاز است (۱۳). در این آزمایش، زیست‌توده گندم با مصرف ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار در حداکثر بود. البته، دستیابی به زیست‌توده بالاتر در این مرحله به معنای رسیدن به عملکرد دانه بالاتر نیست چرا که عملکرد دانه ممکن است در اثر سایه‌اندازی بیشتر (۲۲)، کاهش تعداد پنجه‌های بارور (۱۳) و افزایش رقابت درون‌گونه‌ای برای نور (۱۸) تحت تأثیر قرار گیرد. حداکثر زیست‌توده علف‌های هرز در رقابت با گندم در شرایط بدون کاربرد علف‌کش با مصرف ۲۱۵/۷۶ کیلوگرم کود اوره در هکتار به‌دست آمد (شکل ۲) و مصرف کود بیشتر مجموع زیست‌توده علف‌های هرز را با کاهش تراکم بوته‌های هرز ظاهرشده در مزرعه کاهش داد. برخلاف این نتایج، کیم و همکاران (۲۰۰۶a) با کمی‌سازی تأثیر کود نیتروژن و دوزهای کاهش‌یافته علف‌کش بر رقابت گندم -کلزا گزارش کردند که زیست‌توده گندم در تک‌کشتی با افزایش مصرف نیتروژن تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت اما مصرف مقادیر بیشتر از این حد منجر به افزایش بیشتر زیست‌توده گندم نشد و در عوض به‌دلیل پاسخ رشدی بهتر کلزا به مقادیر بالاتر نیتروژن تعادل رقابتی را به نفع این گیاه تغییر داد (۱۳). تفاوت نتایج به‌دست آمده در اینجا با آزمایش کیم و همکاران (۲۰۰۶a) به‌این دلیل است که در این مطالعه رقابت گندم با علف‌های هرز را در شرایط طبیعی بررسی شد درحالی‌که آن‌ها تراکم علف‌هرز را به‌عنوان یک فاکتور در آزمایش گنجانده بودند (۱۳). از طرف دیگر، ED_{50} و به‌طور مشابه CD_{50} با افزایش مصرف کود نیتروژن تا ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار کاهش یافت. بنابراین، به‌نظر می‌رسد در شرایط رقابت طبیعی گندم با علف‌های هرز افزایش مصرف کود نیتروژن به‌همراه کاربرد دز مناسب علف‌کش می‌تواند تعادل رقابتی را نفع گیاه زراعی تغییر دهد.

نتیجه‌گیری کلی

افزایش توان رقابتی علف‌های هرز در پاسخ به افزایش مصرف نیتروژن به افت بیشتر زیست‌توده گندم در سطوح بالاتر مصرف کود منتج شد. کاربرد علف‌کش در سطوح بالاتر مصرف کود که توان رقابتی علف‌های هرز در این شرایط بسیار بیشتر از سطوح کم مصرف کود بود، با افزایش بیشتری در زیست‌توده گندم همراه بود. مدل‌هایی که در این مطالعه توسعه یافت می‌تواند پیش‌بینی‌های معقولی از زیست‌توده گندم در رقابت چندگانه با علف‌های هرز ارائه دهد و برای برآورد دز علف‌کش موردنیاز برای محدود ساختن افت زیست‌توده گیاه زراعی و یا تولید زیست‌توده علف‌های هرز به کمتر از یک حد معین مورد استفاده قرار گیرد. در این مطالعه، چارچوبی برای ادغام مدیریت کود نیتروژن و مدیریت علف‌های هرز گندم ارائه شد. با توجه به این‌که کود نیتروژن هم زیست‌توده گیاه زراعی و هم زیست‌توده علف‌های هرز را تحت تأثیر قرار می‌دهد، درحالی‌که علف‌کش در هنگام کاربرد کمتر از دز توصیه‌شده به‌طور معمول تنها بر زیست‌توده علف‌های هرز تأثیرگذار است، در تصمیم‌گیری برای کنترل مطلوب علف‌های هرز هم باید میزان مصرف کود و هم میزان مصرف علف‌کش را در نظر گرفت. افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی منجر به توسعه نظام‌های زراعی با ورودی کم (مصرف کم کود و علف‌کش) شده است. بااین‌حال، نتایج نشان داد که علف‌های هرزی که در سطوح کم نیتروژن رشد کردند نسبت به علف‌کش مورد ارزیابی بسیار متحمل‌تر از بوته‌های رشد یافته در سطوح بالاتر مصرف کود بودند.

منابع

1. Belles, D.S., Thill, D.C., and Shafi, B. 2000. PP-604 rate and *Avena fatua* density effects on seed production and viability in *Hordeum vulgare*. Weed Sci., 48: 378–384.
2. Blackshaw, R.E., and Brandt, R.N. 2008. Nitrogen fertilizer rate effects on weed competitiveness is species dependent. Weed Sci., 56: 743-747.
3. Blackshaw, R.E., Molnar, L.J., and Janzen, H.H. 2004. Nitrogen fertilizer timing and application method affect weed growth and competition with spring wheat. Weed Sci., 52: 614–622.
4. Blackshaw, R.E., O'Donovan, J.T., Harker, K.N., and Clayton, G.W. 2006. Reduced herbicide doses in field crops: A review. Weed Biol. Manag., 6: 10–17.
5. Brain, P., Wilson, B.J., Wright, K.J., Seavers, G.P., and Caseley, J.C. 1999. Modelling the effect of crop and weed on herbicide efficacy in wheat. Weed Res., 39: 21–35.
6. Derakhshan, A., and Gherekhloo, J. 2012. Tribenuron-methyl resistant turnipweed (*Rapistrum rugosum*) from Iran, p. 72 In Proceeding of the 6th International Weed Science Congress, 17-22 June, Hangzhou.
7. Gherekhloo, J., and Derakhshan, A. 2012. Investigating cross-resistance of resistant-*Phalaris minor* to ACCase herbicides. Weed Res. J., 4: 15–25. (In Persian with English abstract).
8. Hamill, A.S., Weaver, S.E., Sikkema, P.H., Swanton, C.J., Tardif, F.J., and Ferguson, G.M. 2004. Benefits and risks of economic vs. efficacious approaches to weed management in corn and soybean. Weed Technol., 18: 723–732.
9. Hans, S.R., and Johnson, W.G. 2002. Influence of shattercane [*Sorghum bicolor* (L.) Moench.] interference on corn (*Zea mays* L.) yield and nitrogen accumulation. Weed Technol., 16: 787–791.
10. Heap, I. 2017. International Survey of Herbicide Resistant Weeds. Available at: http://weedscience.org/summary/MOA.aspx.
11. Holloway, P.J., Bowdler, D., and Caseley, J.C. 1980. Effect of Environment on the Physicochemical Properties of Couch grass (*Agropyron repens*). p. 100–102. In Abbot A.J: (Ed.) Long Ashton Report 1979. Long Ashton Research Station, Bristol, UK.
12. Kim, D.S., Marshall, E.J.P., Brain, P., and Caseley, J.C. 2002. Modelling herbicide dose and weed density effects on crop: weed competition. Weed Res., 42: 1–13.
13. Kim, D.S., Marshall, E.J.P., Brain, P., and Caseley, J.C. 2006a. Modelling the effects of sub-lethal doses of herbicide and nitrogen fertilizer on crop–weed competition. Weed Res., 46: 492–502.
14. Kim, D.S., Marshall, E.J.P., Caseley, J.C., and Brain, P. 2006b. Modelling interactions between herbicide and nitrogen in terms of weed response. Weed Res., 46: 480–491.
15. Lintell-Smith, G, Watkinson, A.R., and Firbank, L.G. 1991. The effects of reduced nitrogen and weed-weed competition on the populations of three common cereal weeds. Pp: 135–140. In Proceedings 1991 British Crop Protection Conference-Weeds, Brighton, UK.
16. Mohammaddoust-e-Chamanadad, H.R., Tulikor, A.M., and Baghestani, M.A. 2006. Effect of long term fertilizer application and crop rotation on the infestation of fields weeds. Pak. J. Weed Sci. Res., 12: 221–234.
17. Moon, B.C., Kim, J.W., Cho, S.H., Park, J.E., Song, J.S., and Kim, D.S. 2014. Modelling the effects of herbicide dose and weed density on rice-weed competition. Weed Res., 54: 484–491.
18. Ryan, M.R., Smith, R.G., Mortensen, D.A., Teasdale, G.R., Curran, W.S., Seidel, R., and Shumway, D.L. 2009. Weed–crop competition relationships differ between organic and conventional cropping systems. Weed Res., 49: 572–580.
19. Roggenkamp, G.J., Mason, S.C., and Martin, A.R. 2000. Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and green foxtail (*Setaria*

viridis) response to corn (*Zea mays*) hybrid. Weed Technol., 14: 304–311.

20. Sterling, T.M., Balke, N.E., and Silverman, D.S. 1990. Uptake and accumulation of the herbicide bentazon by cultured plant cells. Plant Physiol., 92: 1121-1127.
21. Streibig, J.C. 1980. Models for curve fitting herbicide dose response data. Acta Agric. Scand., 30: 59–64.
22. Vance, R.R., and Nevai, A.L. 2007. Plant population growth and competition in a light gradient a mathematical model of canopy partitioning. J. Theor. Biol., 245: 210–219.
23. Waggoner, J.K., Henneberger, O.K., Kullman, G.J., Umbach, D.M., Kamel, F., Beane Freeman, L.E., Alavanja, M.C.R., Sandler, D.P. and Hoppin, J.A. 2012. Pesticide use and fatal injury among farmers in the agricultural health study. Int. Arch. Occup. Environ. Health., 86: 177–187.
24. Wright, K.J., and Wilson, B.J. 1992. Effects of nitrogen on competition and seed production of *Avena fatua* and *Galium aparine* in winter wheat. Asp. Appl. Biol., 30: 1051–1058.
25. Zabalza, A., Gaston, S., Ribas-Carbó, M., Orcaray, L., Igal, M., and Royuela, M. 2006. Nitrogen assimilation studies using 15N in soybean plants treated with imazethapyr, an inhibitor of branched-chain amino acid biosynthesis. J. Agric. Food Chem., 54: 18-23.
26. Zhang, J., Weaver, S.E., and Hamill, A.S. 2000. Risks and reliability of using herbicides at below-labeled rates. Weed Technol., 14: 106–115.