

مدلسازی اثر دزهای علف کش در رقابت چندگونه ای علف های هرز در ذرت

مصطفی اویسی^{۱*}، حمید رحیمیان مشهدی^۱، محمدعلی باغستانی^۱، حسن علیزاده^۱

^۱پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی، بخش تحقیقات علف های هرز

تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۱۰

تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۰/۱۶

چکیده

طی دو سال آزمایش مزرعه ای، تأثیر دزهای علف کش بر رقابت چندگونه ای علف‌های هرز در ذرت بررسی شد. شانزده ترکیب تراکمی، شامل ۴ تراکم تون 4×4 تراکم تاج خروس و ۵ دز علف کش نیکوسولفورون، عامل های مورد مطالعه بودند. مدل هذلولی مستطیلی بیان خوبی از رابطه تراکم دو گونه تون و تاج خروس با عملکرد ذرت ارائه داد. با کمک این مدل ضریب رقابتی علف های هرز در هر دز محاسبه شد و سپس ارتباط ضریب رقابتی گونه ها با دز علف کش بررسی شد. پاسخ توان رقابتی دو گونه ی هرز نسبت به علف کش متفاوت بود. رابطه ی قدرت رقابتی علف‌های هرز با افزایش دز، به خوبی با توابع دز-رسپانس استاندارد برای تاج خروس و برین-کوزنس برای تون توصیف شد. ضریب قدرت رقابتی تاج خروس با افزایش دز علف کش به شدت کاهش یافت و در نصف دز توصیه شده کاملاً حذف شد، اما برای تون یک افزایش اولیه رقابتی در دز ۰/۲۵ دز کامل اتفاق افتاد. هر کدام از این مدل ها بعنوان زیر-مدل جایگزین پارامتر ضریب رقابتی در مدل هذلولی مستطیلی شدند. مدل ترکیبی شامل زیر-مدلهای هذلولی مستطیلی، لجستیک و برین-کوزنس، در شرایط رقابت توأم دوگونه تحت تأثیر دوزهای علف کش که کاربرد علف کش در دزهای پایین تقویت رقابت یک گونه در برابر دیگری را در پی داشت پیش بینی خوبی از عملکرد ذرت ارائه داد. براساس تخمین پارامترها، بدون کاربرد علف کش، قدرت رقابتی تون، ۱/۶ برابر بیشتر از تاج خروس بود. تراکم های بالای علف هرز باعث ۶۲ درصد افت عملکرد در ذرت شد. در تراکم های کم تون یعنی ۰ یا ۴ بوته در متر مربع، کاربرد نصف دز توصیه شده از نقصان عملکرد پیشگیری نمود اما با افزایش تراکم تون دیگر دزهای کاهش یافته مؤثر نبود. حتی با دز کامل علف کش نیز یک کاهش عملکرد ۱۰-۶ درصدی اتفاق افتاد که ناشی از تحمل تون به دز توصیه شده نیکوسولفورون بود.

واژه های کلیدی: رقابت چندگونه ای علف هرز، دز کاهش یافته علف کش، دز-رسپانس، عملکرد ذرت.

* E-mail: moveisi@ut.ac.ir

مقدمه

دزتوصیه شده علف کش معمولاً به میزانی است که بتواند کنترل علف های هرز را در شرایط مختلف اقلیمی و خاکی تضمین کند، به همین خاطر، بسیار اتفاق می افتد که دزتوصیه شده که از طرف کارخانه ی تولید علف کش بر روی برجسب آن ثبت شده است بیش از مقدار مورد نیاز باشد (Caseley, 1990). یکی از عواملی که از میزان مورد نیاز علف کش ها کم می کند توان رقابتی گیاه زراعی است که در سالهای اخیر، بعنوان رهیافتی در جهت کاهش کاربرد علف کش ها مطرح است. درک صحیح از این روابط می تواند راه حل هایی را روشن کند که کمی ازنگرانی های زیست محیطی و اقتصادی ناشی از مصرف سموم بکاهد (Brain et al., 1999). برهمکنش علف کش ها و روابط رقابتی علف های هرز و محصول زراعی بارها مورد مطالعه قرار گرفته است (Salonen, 1993; Courtney, 1994; Davies et al., 1995). برین و همکاران (Brain et al., 1999) و کیم و همکاران (Kim et al., 2002) نخستین بار با ترکیب مدل دز-ریسپانس (Streibig, 1980) و مدل هذلولی مستطیلی (Wilson et al., 1995; Cousens, 1985) و ساختن یک مدل ترکیبی، تأثیر دزهای علف کش و رقابت علف های هرز را بر عملکرد گندم پیش بینی نمودند.

کشاورز در مزرعه با یک گونه علف هرز روبرو نیست. کمتر اتفاق می افتد که رقابت با گیاه زراعی و کاهش عملکرد بخاطر تنهائیک گونه باشد. پس یک برنامه مدیریتی با داعیه کامل و جامع بودن، مجبور است که نیم نگاهی به سایر گونه های رقیب نیز داشته باشد. این کار، پیچیدگی هایی را بدنال دارد و استفاده از شیوه های ویژه ای را می طلبد. استفاده از تراکم معادل (Berti and Zanin, 1994)، واحد استاندارد علف هرز (Aarts and De Visser, 1985)، نسبت های واحد تولید (Hakansson, 1986) و نسبت های معادل محصول (Wilson, 1986) همگی روش هایی بوده که برای دستیابی به این مقصود پیشنهاد شده اند ولی درهیچکدام حرفی از علف کش و تأثیر آن در معادلات رقابتی نیست. امروزه نقش اجتناب ناپذیر علف کش ها در کشاورزی

مدرن، کاملاً شناخته شده است و یک مدل با نادیده انگاشتن آنها ناقص خواهد ماند. چه بسا اتفاق بیفتد که یک گونه رقابت کننده ی بسیار قوی تری باشد اما به یک علف کش خاص حساس. درکنار آن نیز گونه ی هرز دیگری باشد با خصوصیات رقابتی ضعیفتر اما اتفاقاً نسبت به همان علف کش خاص متحمل. چه بسا گونه ای با مصرف علف کش، از یک رقابت کننده ی نسبتاً قوی تر در سیستم، تبدیل به رقابت کننده ی ضعیفتری نسبت به سایر گونه ها بشود. در سال ۲۰۰۶ کیم و همکاران این واکنش را مدلسازی کردند. مدل مذکور، برای رقابت گندم با دوگونه علف هرز بی تی راخ (*Galium aparine L.*) و بابونه (*Matricaria perforate Merat*) تحت دزهای علف کش نوشته شد. وارد شدن علف کش ها در سیستم های رقابتی با گونه ها و محصولات مختلف که هریک از توان رقابتی و حساسیت متفاوت به کاربرد علف کش برخوردارند ممکن است واکنش های متفاوتی نشان دهد که می تواند موضوع جالبی برای بررسی و تحقیق باشد.

علف های هرز یکساله تابستانه ی توق (*Xanthium strumarium L.*) و تاج خروس (*Amaranthus retroflexus L.*) معمولاً در ترکیب گونه ای علف های هرز در ذرت حضور دارند و به ترتیب کاهش محصول شصت (Mojeni, 2008) و چهل و پنج درصدی (Mirzaii et al., 2005) در ذرت از تراکم های بالای این دو گونه گزارش شده است. علف کش نیکوسولفورون از ترکیبات بازدارنده ی آنزیم استولاکتاز سنتتاز، علف کشی دو منظوره بوده که تأثیرکنترلی مناسبی بر روی علف های هرز یکساله و چندساله پهن برگ و باریک برگ مزارع ذرت نشان داده و در عین حال از خاصیت انتخابی خوبی در ذرت برخوردار است (Mousavi, 2001). اثر کنترلی نیکوسولفورون بر توق، ۶ و بر تاج خروس، ۹ گزارش شد (DuPont Agricultural Products 1995). با ایده ای که از منابع گرفته شد (Kim et al., 2006) علف کشی مورد نظر بود که گونه های علف هرز مورد بررسی، حساسیت متفاوتی به آن داشته باشند و با توجه به

بصورت آگمنتت و برای سطوح عامل دزهای علف کش نیز یک بلوک کامل تصادفی پیاده شد (فدرر ۲۰۰۵). آزمایش ۵ بلوک داشت و هر بلوک گنجایش ۱۸ کرت. از ۱۸ کرت هر بلوک، ۳ کرت به ذرت های شاهد بدون علف اختصاص داده شد که غالباً در ابتدا، وسط و انتهای بلوک ها جای گرفتند. ۱۵ کرت باقی مانده نیز به ترکیب ۵ دز علف کش * ۳ ترکیب از ۱۵ ترکیب تراکمی برای هر بلوک اختصاص داده شد. ۳ تراکم بصورت انتخابی تحت ۵ دز علف کش در بلوک اول، ۳ تراکم تصادفی بعدی به همین ترتیب در بلوک دوم، سوم، چهارم و پنجم جای داده شد.

ذرت (*Zea mays* L.) رقم ۷۰۴ سینگل کراس در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ۸۶ و ۱۷ اردیبهشت ۸۷ با تراکم ۶/۰۶ بوته در متر مربع و با فواصل ردیف ۰/۷۵ متر و در ۴ ردیف در کرت های ۳ × ۴/۵ متری کشت شد. بذر علف های هرز توج و تاج خروس در پاییز ۸۵ و ۸۶ از مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی کرج جمع آوری و تا زمان کشت در بهار در سردخانه با دمای ۴ درجه سانتیگراد نگه داری شد. بذرهای توج و تاج خروس همزمان با ذرت و بصورت یک در میان با فاصله ۱۵ سانتیمتر در دو طرف ردیف های ذرت کاشته شد. کاشت به صورت کپه ای و با تراکم بالاتر انجام شد تا پس از اطمینان از استقرار گونه ها، تراکم مورد نظر اعمال گردد. رویش ذرت و توج همزمان و تاج خروس کمی دیرتر اتفاق افتاد. بعد از سبزکرد ذرت و علف های هرز، در مرحله ۲ برگی علف های هرز بوته ها تنک شده و به تراکم مورد نظر رسیدند و هرگونه ای غیر از گونه های مورد نظر وجین شد. در مرحله ۴ برگی ذرت همزمان با ۴ برگی کامل توج و ۴-۲ برگی تاج خروس، دزهای علف کش با یک سمپاش پستی باطری (Matabi 12v Electric Backpack Sprayer, Agratech, UK) مجهز به نازل شره ای که با فشار ۲۴۰ کیلوپاسکال و حجم ۲۵۰ لیتر درهکتار تنظیم شده بود پاشیده شد. برداشت ذرت در آخر شهریور هر دو سال آزمایش پس از رسیدن، از دو ردیف میانی و از هر ردیف به طول ۱ متر انجام و عملکرد دانه در واحد سطح اندازه گیری شد.

ویژگی های نیکوسولفورون، این علف کش برای آزمایش انتخاب شد.

مطالعه ی حاضر، به ارزیابی و مدلسازی رقابت توأم دو گونه توج و تاج خروس تحت کاربرد دزهای علف کش نیکوسولفورون در ذرت پرداخته است.

مواد و روش ها

آزمایش مزرعه ای طی دو سال (۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی دانشگاه تهران واقع در کرج با مشخصات جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی، ارتفاع ۱۳۶۱ متر و متوسط بارندگی سالانه ۲۴۱ میلیمتر اجرا شد. مزارع انتخابی، سال قبل از آزمایش را تحت آیش گذرانده بود. خاک مزرعه لومی-رسی شامل ۲۸/۶٪ شن، ۴۰٪ سیلت و ۳۱/۴٪ رس با پی اچ ۷/۱ و $EC=۰/۳۸$ بود. درصد نیتروژن خاک ۰/۰۷٪، میزان فسفر ۲۱/۲ پی پی ام و پتاسیم ۱۳۲ پی پی ام بود. عملیات آماده سازی بستر کاشت شامل یک شخم عمیق در پائیز و دودیسک در ابتدای بهار بود که با یک کولتیواتور تکمیل شد. ۲۵۰ کیلوگرم درهکتار کود سولفات آمونیوم پیش از کاشت و ۱۷۰ کیلوگرم کود اوره بصورت سرک در مرحله ۸-۶ برگی ذرت و در کنار ردیف های ذرت به خاک داده شد. آبیاری با دور یک هفته براساس عرف محل انجام گرفت. تأثیر سه عامل در آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. ۱۶ ترکیب تراکمی شامل ۴ تراکم تاج خروس (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ بوته در مترمربع) ۴× تراکم توج (صفر، ۴، ۶، ۸ بوته در متر مربع) و ۵ دز صفر، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و دز توصیه شده علف کش نیکوسولفورون با فرمولاسیون 5% SC، ۱/۵ لیتر در هکتار (Mousavi, 2001) به عنوان سطوح عوامل مورد بررسی در نظر گرفته شد. با توجه به تعداد بالای تیمارها، لاجرم آزمایش در یک تکرار طراحی شد (فدرر ۲۰۰۵، کیم و همکاران ۲۰۰۶). براین اساس به ترکیبات تراکمی دو کرت عاری از علف هرز یعنی تراکم (صفر و صفر) اضافه شد. بدین ترتیب در مجموع ۱۵ ترکیب تراکمی علف های هرز در ذرت به همراه ۳ کرت ذرت عاری از علف هرز در نظر گرفته شد. برای ترکیبات تراکمی یک طرح بلوک های کامل تصادفی

مدل‌های مورد استفاده

مدل هذلولی مستطیلی برای دو گونه (Kim et al., 2006) برای پیش‌بینی عملکرد محصول در تراکم‌های مختلف علف‌های هرز (گونه ۱ (x_1) و گونه ۲ (x_2)) تحت هر دز از دزهای پنجگانه علف‌کش ($i = 1, 2, \dots, n$) مورد استفاده قرار گرفت:

$$Y = Y_0 / (1 + \beta_{1i} x_1 + \beta_{2i} x_2 + \lambda_i x_1 x_2) \quad [1]$$

که در آن Y_0 عملکرد ذرت در شرایط عاری از علف‌هرز، β_{1i} و β_{2i} به ترتیب ضریب رقابتی گونه‌ی ۱ و ۲ (یک به روی β تراکمی از علف‌هرز است که پنجاه درصد کاهش محصول را بر جای خواهد گذاشت، (Brain et al., 1999)) و λ_i اثر متقابل دو گونه بر یکدیگر در دز i است. این احتمال وجود دارد که علفکش، گیاه زراعی را هم تحت تأثیر قرار دهد لذا باید Y_0 نیز برای دوزهای مختلف تعریف شده و بصورت Y_{0i} نشان داده شود. باتوجه به اینکه دوزهای علفکش انتخابی، بخصوص آنها که پایینتر از دوز توصیه شده هستند معمولاً تأثیری بر رشد

محصول نخواهند داشت فرض شد که عملکرد در شرایط عاری از علف‌هرز تحت تأثیر دز قرار نمی‌گیرد (Kim et al., 2002). در موارد بسیاری (Wilson, 1995) پارامتر اثر متقابل در تخمین پارامترهای مدل معنی دار نشده و با حذف آن مدل ساده شده است. در صورت حذف λ_i مدل ۱ به شکل زیر می‌تواند بازنویسی گردد:

$$Y = Y_0 / (1 + \beta_{1i} x_1 + \beta_{2i} x_2) \quad [2]$$

از طرفی رابطه ضریب رقابتی (β_{1i} و β_{2i}) با دز علف‌کش، می‌تواند با استفاده از رابطه دز-ریسپانس استاندارد (Streibig et al., 1980) بیان شود:

$$\beta_i = \beta_0 / (1 + (\text{Dose}_i / \text{RD}_{50})^B) \quad [3]$$

که β_0 ضریب رقابتی در دز صفر، Dose مقدار دز علف‌کش، RD_{50} غلظتی از علف‌کش که کاهش پنجاه درصدی در ضریب رقابتی را باعث می‌شود و B نیز بیانگر شیب منحنی در ناحیه خطی است. تلفیق مدل‌های ۲ و ۳ مدل ۷ پارامتری زیر را خواهد ساخت (Kim et al., 2006):

$$Y = Y_0 / (1 + (\beta_{01} x_1 / (1 + (\text{Dose} / \text{RD}_{501})^B)) + (\beta_{02} x_2 / (1 + (\text{Dose} / \text{RD}_{502})^B))) \quad [4]$$

ابتدا به منظور بررسی اثر عامل‌های آزمایشی بر عملکرد، تجزیه واریانس با استفاده از SAS انجام گرفت. درگام بعدی از رگرسیون غیرخطی برای تجزیه و تحلیل نتایج کمک گرفته شد. با توجه به اجرای آزمایش در دو سال، برای تصمیم‌گیری درباره‌ی برآزش مدل‌های رگرسیونی به داده‌های هر سال بطور جداگانه و یا روی هم ریختن داده‌های دو سال و اجرای یک مدل واحد با استفاده از تمامی داده‌ها آزمون F مورد استفاده قرار گرفت:

$$F = \frac{(SS_{\text{combined}} - SS_{\text{separate}}) / (DF_{\text{combined}} - DF_{\text{separate}})}{SS_{\text{separate}} / DF_{\text{separate}}}$$

"separate" بیانگر مدل‌های جداگانه‌ی هر سال است. اگر مقدار "F" محاسبه شده کوچکتر از F جدول با درجه آزادی

که Y عملکرد ذرت در تراکم‌های مختلف دو گونه‌ی هرز تحت دز علف‌کش، β_{01} و β_{02} ضرایب رقابتی گونه‌ی یک و دو در دز صفر، Dose مقدار دز علف‌کش، RD_{501} و RD_{502} به ترتیب دزهای مورد نیاز برای کاهش پنجاه درصدی ضرایب رقابتی گونه‌ی ۱ و ۲ و $B1$ و $B2$ شیب منحنی یا نرخ پاسخ دو گونه به دزهای علف‌کش می‌باشد.

روش‌های آماری

که "SS" مجموع مربعات باقیمانده‌ها و "DF" درجه آزادی است. "combined" معرف مدل واحد (دو سال با هم) و

توان توصیف و برازش، رتبه بندی کرد. رتبه بندی مدل ها با کمک شاخص Δ_i قابل محاسبه است:

$$\Delta_i = AIC_c - \min AIC_c$$

که $\min AIC_c$ حداقل مقدار AIC_c محاسبه شده در بین مدل هاست و متعلق به مدلی است که بهترین برازش را نشان داده است. اگر Δ_i کوچکتر از ۲ باشد هر دو مدل برازش و پیش بینی بسیار خوبی ارائه می دهند. Δ_i بین ۲ و ۱۰ یعنی مدل با مقدار AIC_c بزرگتر نیز قابل قبول است و Δ_i بزرگتر از ۱۰ یعنی مدل با AIC_c بزرگتر مدل مناسبی نیست (Burnham and Anderson, 2002). با اضافه شدن هر پارامتر و در نتیجه پیچیده شدن بیشتر مدل، با توجه به اینکه مدل نقاط بیشتری را تحت پوشش قرار می دهد از مجموع مربعات خطای مدل کاسته می شود و R^2 مدل نیز افزایش می یابد. در عین حال از درجه آزادی خطای مدل کاسته می شود. با کمک شاخص آکائیک می توان ارزیابی نمود که آیا مقدار کاهش مجموع مربعات خطا ارزش کم شدن از درجه آزادی خطا و پیچیده کردن مدل را داشته است یا خیر.

نتایج

مدلسازی اثر متقابل دزهای علف کش و رقابت

دو گونه ای علف های هرز بر عملکرد

قدرت رقابتی تاج خروس (β_1) و توت (β_2) با کمک رابطه ۱ و ۲ و اثر متقابل دو گونه بر یکدیگر (λ) با برازش رابطه ۱ به عملکرد ذرت در دزهای مختلف علف کش محاسبه شد. مقدار اثر متقابل (λ) بسیار ناچیز بود و فرقی بین این مقدار با مقدار صفر در برازش مدل وجود نداشت (جدول ۱). از طرفی با افزایش دز علف کش به نصف دز توصیه شده، تاج خروس کاملاً از گردونه رقابت حذف شد و عملاً گونه دومی حضور نداشت تا موجبات اثر متقابل فراهم باشد. بنابراین پارامتر λ از مدل ۱ حذف و این مدل به رابطه ۲ ساده شد. شاخص AIC_c و Δ_i نشان داد که مدل ساده شده یعنی رابطه ۲ نیز توصیف مناسبی از عملکرد ذرت در رقابت با دو گونه ی علف هرز ارائه می دهد

صورت ($DF_c - DF_s$) و درجه آزادی مخرج (DF_c) باشد آنگاه مدل واحد مورد پذیرش خواهد بود (Motulsky and Christopoulos, 2003). برازش مدل ها با استفاده از نرم افزار Sigmaplot 11.0 انجام شد. ارزیابی برازش مدل ها با کمک شاخص ریشه دوم میانگین های خطا $(RMSE)^*$ با فرمول:

$$RMSE = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^n (y_{obs} - y_{pred})^2}$$

و R^2_{adj} با فرمول:

$$R^2_{adj} = 1 - \frac{\sum (y_{obs} - y_{pred})^2}{\sum (y_{obs} - \bar{y}_{obs})^2}$$

انجام گرفت که y_{obs} و y_{pred} به ترتیب معرف مقادیر مشاهده و پیش بینی شده می باشند. $RMSE$ کوچکتر و R^2_{adj} نزدیکتر به یک نشانگر برازش بهتر مدل به داده ها است. برای انتخاب بهترین مدل از شاخص آکائیک (AIC_c^\dagger) استفاده شد (Burnham and Anderson, 2002). فرمول آن به شکل زیر است:

$$AIC = -2(\log\text{-likelihood}) + 2k$$

که k ، تعداد پارامترهای برآورد شده در مدل می باشد. در مقایسه دو مدل، هرکدام که از مقدار AIC کمتری برخوردار است بعنوان مدل بهتر انتخاب می شود. در آزمایشاتی که تعداد نقاط یا نمونه ها (n) کوچک است از شاخص آکائیک تصحیح شده (AIC_c^\ddagger) استفاده می شود (Burnham and Anderson, 2002). این شاخص بصورت زیر محاسبه خواهد می شود:

$$AIC_c = AIC + (2k(k+1))/(n-k-1)$$

همانطور که ذکر شد n تعداد نقاط (total) است. اگرچه بهترین مدل، مدلی است که کمترین میزان AIC را داشته باشد اما روشی نیز وجود دارد که با کمک آن می توان مدل ها را بر اساس

* Root mean of squares of error

† Akaike Information Criterion

‡ Corrected Akaike Information Criterion

گونه ای متفاوت بود (شکل ۱). به نحوی که در رقابت توأم، یک افزایش اولیه در توان رقابتی توج در دزهای پایین (۰/۲۵ دز کامل) مشاهده شد که تابع دز-ریسپانس استاندارد قادر به توجیه آن نبود (شکل ۱). عدم توجه به این افزایش اولیه در دزهای پایین می تواند خطای بالایی را به دنبال داشته باشد (Schabenberger *et al.*, 1999). به همین خاطر مدلی انتخاب شد که به افزایش اولیه نیز اجازه دهد که درپیش بینی های مدل سهمیم باشد. تابع مورد نظر به شکل زیر بود:

$$\beta = \beta_0 + \gamma \text{Dose} / (1 + \exp(B \times \log(\text{Dose}) - \log(\text{RD}_{50}))) \quad [5]$$

از پارامترهای تخمینی در مدل های بالا، به عنوان مقادیر اولیه در برازش مدل ۴ یعنی مدل ۷ پارامتری کیم و همکاران (Kim *et al.*, 2006) استفاده شد و مدل برازش نسبتاً مناسبی به داده ها داشت (جدول ۳). اما این مدل از دو زیر-مدل دز-ریسپانس در مخرج تشکیل یافته است. درحالیکه شاخص های برازش مدل نشان داد که مدل دز-ریسپانس برای توج مناسب نیست و بهتر است از مدل برین-کزنس (رابطه ۵) برای توصیف پاسخ توج به علف کش استفاده شود. به نظر رسید تغییراتی در زیر-مدل ها می تواند توان برازش مدل را افزایش دهد. با جایگزینی زیر-مدل دوم مربوط به توج (دز-ریسپانس)، در مخرج مدل ۴ با رابطه ۵ (برین-کزنس) مدل ۴ بصورت زیر تصحیح شد:

(جدول ۱). برای درک بهتر از تاثیر افزایش دز علف کش بر توان رقابتی علف های هرز، رابطه ضرایب توان رقابتی تاج خروس و توج (β_1 و β_2) با دزهای علف کش با کمک رگرسیون غیرخطی ترسیم شد (شکل ۱). مدل مورد استفاده برای برازش این رابطه، تابع دز-ریسپانس استاندارد (رابطه ۳) بود. توان رقابتی تاج خروس با افزایش دز کاهش یافت و این کاهش به خوبی از تابع برازش داده شده تبعیت کرد (شکل ۱)، (جدول ۲). برای توج اما روند، در رقابت تک گونه ای و دو

که در آن γ شیب افزایش اولیه در دزهای پایین است. این رابطه همان مدل معروف پنج پارامتری برین و کزنس (Brain and Cousens, 1989) است، با این تفاوت که پارامتر "حدپائین" در آن صفر فرض شده و در نتیجه تبدیل به یک رابطه ۴ پارامتری شده است. مدل برین-کزنس، شکل توسعه یافته ای از مدل دز-ریسپانس استاندارد (رابطه ۳) است که با این تغییرات پس از طی یک افزایش جزئی اولیه در دزهای کم، روند کاهشی از دزهای بالاتر آغاز می شود. وقتی این مدل، به توان رقابتی توج با دز علف کش برازش یافت نتایج بسیار رضایت بخش بود (جدول ۲). شاخص ارزیابی برازش مدل نیز نشان دهنده ی توان بالاتر مدل ۵ در توجیه تغییرات بود (جدول ۲).

$$Y = Y_0 / (1 + (\beta_{01} x_1 / 1 + (\text{Dose} / \text{RD}_{50})^{\beta_1}) + (\beta_{02} + \gamma \text{Dose}) x_2 / 1 + \exp(B_2 \times \log(\text{Dose}) - \log(\text{RD}_{50}))) \quad [6]$$

جدول ۱: خلاصه ای از نتایج برازش رابطه ۱ و ۲ به داده های عملکرد ذرت و تراکم های علف هرز تاج خروس و توج در دزهای صفر و ۰/۲۵ دز کامل.

Table 1. Summary of non-linear regression analysis by Eqn 1 (with interaction parameter (λ)), and Eqn 2 (without interaction effect) at rates 0 and 25% of recommended dose.

Herbicide rate (% of recommended rate)	Model	DF residuals	Number of Parameters	R ² _{adj}	RMSE	AIC _c	Δ_i
0*	Equation 1	28	4	0.967	0.343	55.69	0.00
	Equation 2	29	3	0.952	0.369	55.06	0.63
0.25*	Equation 1	28	4	0.909	0.655	15.73	0.00
	Equation 2	29	3	0.899	0.698	14.67	1.06

* با حذف تاج خروس از نصف دز کامل به بعد، اثر متقابل وجود نداشت. به همین خاطر نتایج تنها در دزهای صفر و ۰/۲۵ مقایسه شده است (RMSE کوچکتر و R²_{adj} نزدیکتر به یک نشانگر برازش بهتر مدل به داده ها است. شاخص AIC_c و Δ_i برای مقایسه و انتخاب مدل هاست. مقدار منفی تر AIC_c معرف برازش بهتر مدل است. اختلاف آکائیک کمتر از ۲ ($\Delta_i < 2$) به مفهوم عدم اختلاف در برازش مدل هاست).

جدول ۲: خلاصه نتایج حاصل از برازش توابع دز-ریسپانس استاندارد (رابطه ۳، Dose-response) و برین-کزنس (رابطه ۵، Brain-Cousens) به ضریب توان رقابتی توج (common cocklebur) و تاج خروس (redroot pigweed) در مقابل دزهای علف کش.

Table 2. Summary of results of fitting the standard dose-response and Brain & Cousens curve to the estimated weed competitiveness of redroot pigweed and common cocklebur.

Model	Weed species	Parameter estimates							
		B ₀	γ	RD ₅₀	B	Adj R ²	RMSE	AIC _c	Δ_i
(Equation 3)	redroot pigweed	0.0661 (0.0001) 6.8722E-005	-	0.33 (0.0029)	6.40 (0.088) 6.3283	0.999	0.00019	-140.953	-
(Equation 3)	common cocklebur	0.0971 (0.0039)	-	0.62 (0.030)	4.84 (0.77)	0.948	0.0089	-94.14	21.084
(Equation 5)	common cocklebur	0.0901 (0.014)	0.1033 (0.016)	0.61(0.018)	9.05 (0.61)	0.996	0.0019	-115.224	

β_0 حد بالایی منحنی (توان رقابتی علف هرز در حالت بدون علف کش)، γ خط برآیافزایش اولیه منحنی پاسخ به دز در دزهای پائین، RD₅₀ دزی که باعث ۵۰ درصد کاهش در توان رقابتی علف هرز می شود، B شیب منحنی. RMSE کوچکتر و R²_{adj} نزدیکتر به یک نشانگر برازش بهتر مدل به داده ها است. شاخص AIC_c و Δ_i برای مقایسه و انتخاب مدل هاست. مقدار منفی تر AIC_c معرف برازش بهتر مدل است. اختلاف آکائیک کمتر از ۲ ($\Delta_i < 2$) به مفهوم عدم اختلاف در برازش مدل هاست. اعداد داخل پرانتزها بیانگر خطای استاندارد پارامتر هاست.

جدول ۳: تخمین پارامترهای حاصل از برازش مدل های ۴ و ۶ به عملکرد ذرت.

Table 3. Summary of estimated parameters for crop yield calculated using Eqn 4 and Eqn 6.

Models	Parameter estimates											
	Y_0 (t ha ⁻¹)	β_{01}	RD ₅₀₁	B ₁	B ₀₂	RD ₅₀₂	B ₂	γ	R ² _{adj}	RMSE	AICc	Δi
Equation 4	11 (0.173)	0.066 (0.0051)	0.33 (0.037)	7.58 (1.066)	0.096 (0.0056)	0.62 (0.061)	3.81 (0.13)	-	0.933	1.37	-237	
Equation 6	10.95 (0.0171)	0.064 (0.083)	0.322 (0.039)	6.47 (0.89)	0.1091 (0.044)	0.623 (0.025)	13.48 (2.02)	0.1025 (0.0061)	0.954	0.65	-244	

7

β_{01} و β_{02} به ترتیب نشانگر ضرایب توان رقابتی گونه ۱ (تاج خروس) و گونه ۲ (توق) بدون مصرف علف کش است، RD₅₀₁ و RD₅₀₂ به ترتیب مقدار دز مورد نیاز برای کاهش ۵۰ درصدی توان رقابتی تاج خروس و توق، B₁ و B₂ به ترتیب برای گونه ۱ و ۲ بیانگر شیب منحنی پاسخ به دز. اعداد داخل پرانتزها بیانگر خطای استاندارد پارامترهاست. RMSE کوچکتر و R²_{adj} نزدیکتر به یک نشانگر برازش بهتر مدل به داده ها است. شاخص AICc و Δi برای مقایسه و انتخاب مدل هاست و مقدار منفی تر AICc معرف برازش بهتر مدل می باشد. اختلاف آکائیک کمتر از ۲ ($\Delta i < 2$) به مفهوم عدم اختلاف در برازش مدل هاست.

کاهش نسبی تاج خروس در این دز، همچنان یک خسارت ۶۳ درصدی از ترکیبات تراکمی بالای علف های هرز ایجاد شد. به نظر می رسد که کاهش در تاج خروس با افزایش در توج همزمان شده و اثر کاهشی بر تاج خروس را جبران کرده است (شکل ۲). با کاربرد نصف دز کامل اگرچه تاج خروس کاملاً کنترل شد و عملکرد ذرت در کلیه تراکم های تاج خروس ثابت ماند ولی تراکم ۸ بوته توج در متر مربع هنوز ۳۵ درصد خسارت به محصول وارد می کرد (شکل ۲). بنابراین توصیه دز بستگی زیادی به تراکم توج داشت. در مجموع حتی وقتی دز کامل علف کش استفاده شد یک خسارت ۱۰-۶ درصدی اتفاق افتاد و شیب کاهش خسارت به محصول بر اثر کاربرد علف کش، هیچگاه به یک کنترل کامل نرسید (شکل ۲). در تراکم های کم توج یعنی ۰ یا ۴ بوته در متر مربع، کاربرد نصف دز علف کش از نقصان عملکرد پیشگیری نمود اما با افزایش تراکم توج دیگر دزهای کاهش یافته مؤثر نبود که ناشی از تحمل توج به علف کش نیکوسولفورون در دز توصیه شده بود (شکل ۳ و ۴).

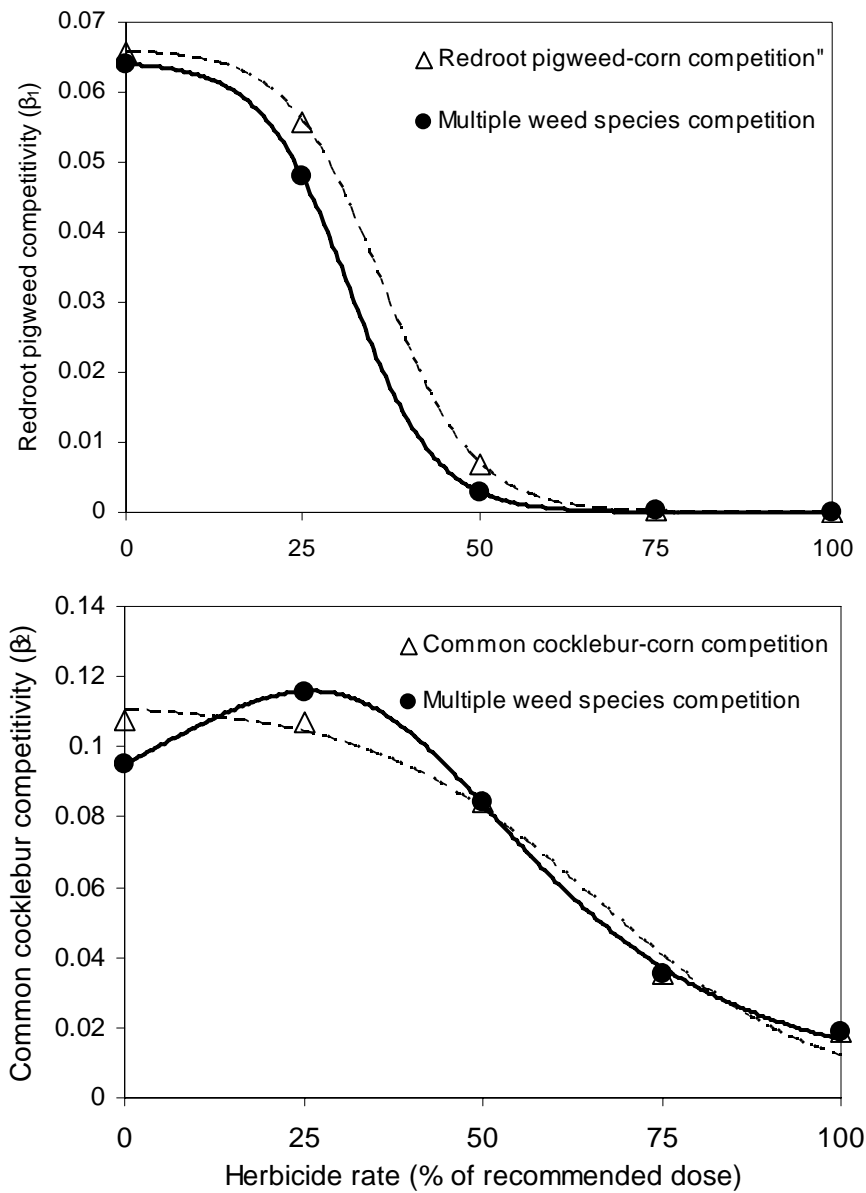
بحث و نتیجه گیری

برای کاربردی شدن مدل های پیش بینی عملکرد، باید تأثیر علف کش نیز در این مدل ها لحاظ شود، چراکه علف کش ها نقش بارزی را در روابط علف هرز-گیاه زراعی ایفا می کنند (Brain and Cousens, 1989; Streibig *et al.*, 1980). اما حضور علف کش ها در مدل باعث پیچیدگی کار می شود بخصوص اگر مدل چندگونه ای باشد. کیم و همکاران (Kim *et al.*, 2006) اثر متقابل گونه ها (λ) را حذف کردند تا کمی کار ساده تر شود. قبلاً هم محققان دیگر برای سهولت کار در رقابت چندگونه ای از این پارامتر چشم پوشی کرده بودند (Coble and Mortensen, 1992; Swinton *et al.*; 2004; Wilson *et al.*, 1995; Cowan *et al.*, 1998; Van Acker *et al.*, 1998)، اما همگی به این نکته اشاره کرده اند که این به معنی آن نیست که اثر متقابل واقعاً وجود نداشته باشد.

که ۷ شیب افزایش اولیه ای است که در توان رقابتی گونه ۲، در رقابت توأم اتفاق افتاده است. مدل ۶ برازش مناسبی به داده ها نشان داد و شاخص های برازش مدل ها نیز به روشنی حاکی از برتری مدل ۶ بر مدل ۴ در توصیف عملکرد ذرت در شرایط رقابت دو گونه و کاربرد علف کش بود (جدول ۳). تفاوت شاخص AICc نشان می دهد که اضافه شدن پارامتر ۷ در مدل، برای توان توصیفی مدل مفید بوده است. براساس تخمین پارامترهای مدل ۶ (جدول ۳) توان رقابتی توج β_{02} در شرایطی که علف کشی بکار نرفته باشد ۱/۷ بیشتر از تاج خروس بود. کاربرد ۴۸۳ میلی لیتر (۳۲٪ غلظت توصیه شده) نیکوسولفورون باعث کاهش ۵۰ درصدی در توان رقابتی تاج خروس شد. میزان علف کش مورد نیاز برای کاهش ۵۰ درصدی توج نیز چیزی در حدود ۹۳۳ میلی لیتر (۶۳٪ غلظت توصیه شده) تخمین زده شد (جدول ۳).

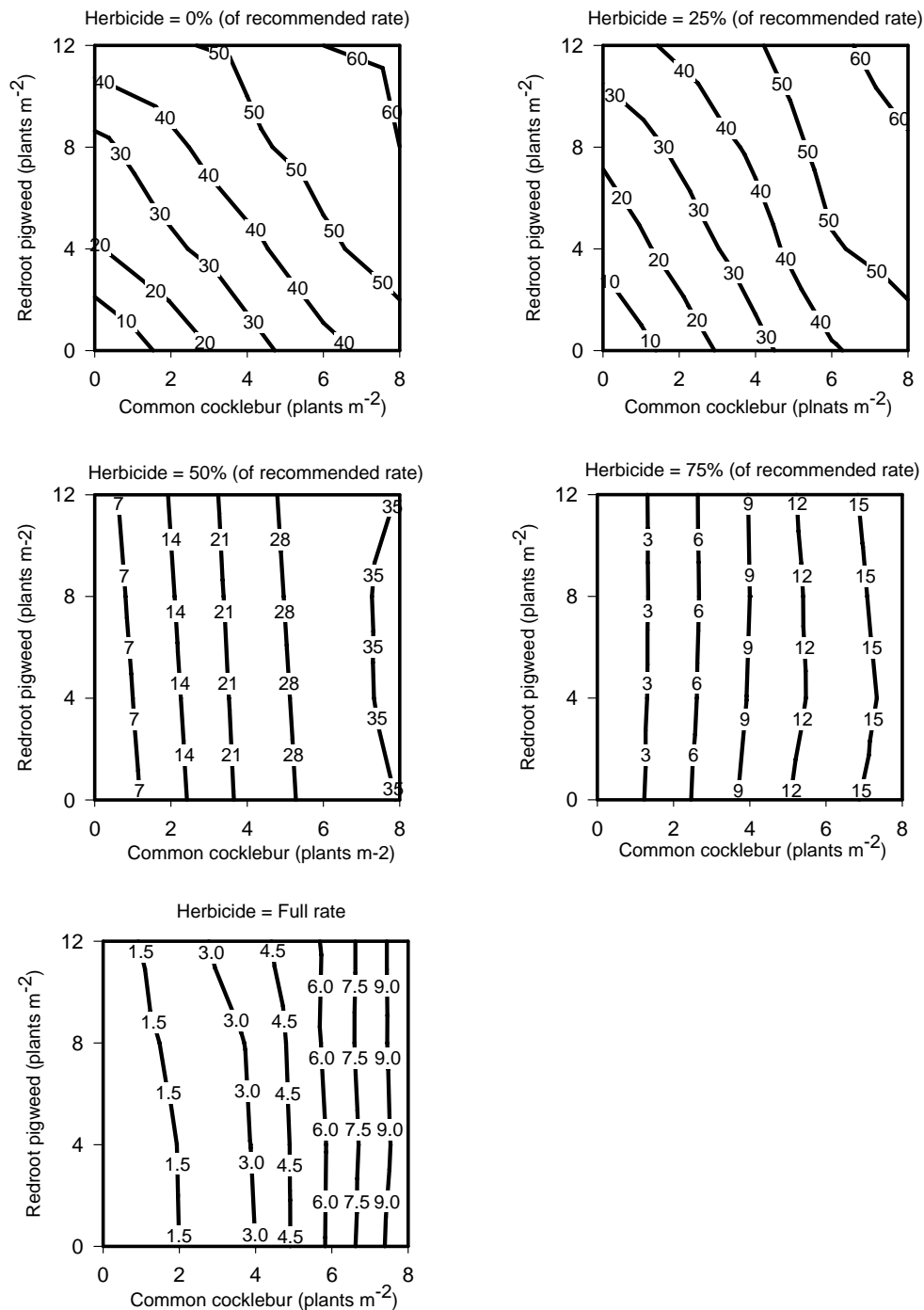
پیش بینی عملکرد ذرت

طبق پیش بینی مدل در شرایط عدم کاربرد علف کش، تراکم های ۴، ۸ و ۱۲ بوته در متر مربع تاج خروس باعث ۱۹، ۲۷ و ۴۶ درصد کاهش عملکرد شدند (شکل ۲). برای تراکم های ۴، ۶ و ۸ بوته در متر مربع توج نیز به ترتیب، خسارت عملکرد در حدود ۲۶، ۳۷ و ۴۵ درصد بود (شکل ۲). با توجه به تخمین پارامتر توان رقابتی توج (جدول ۳)، جای تعجبی نیست که توج با وجود تراکم کمتر، کاهش عملکرد بالاتری را باعث شود. ترکیب ۸ بوته توج و ۱۲ بوته تاج خروس در متر مربع که پرجمعیت ترین تیمار تراکم علف هرز بود ۶۲ درصد خسارت به عملکرد ذرت وارد کرد (شکل ۲). ازطرفی همانطور که ذکر شد این دو گونه پاسخ های متفاوتی به علف کش نشان دادند. افزایش علف کش تاج خروس را ضعیف و ضعیفتر کرد تا جایی که در نصف دز کامل، تقریباً اثری از آن باقی نماند. در مقابل توج نه تنها کاهش رشد نشان نداد بلکه کمی هم در دز ۰/۲۵ قویتر شد. کاربرد علف کش در دز ۰/۲۵ دز کامل، تأثیری در افزایش عملکرد یا به عبارتی جلوگیری از خسارت علف های هرز نداشت. چنانکه با وجود کاربرد علف کش و



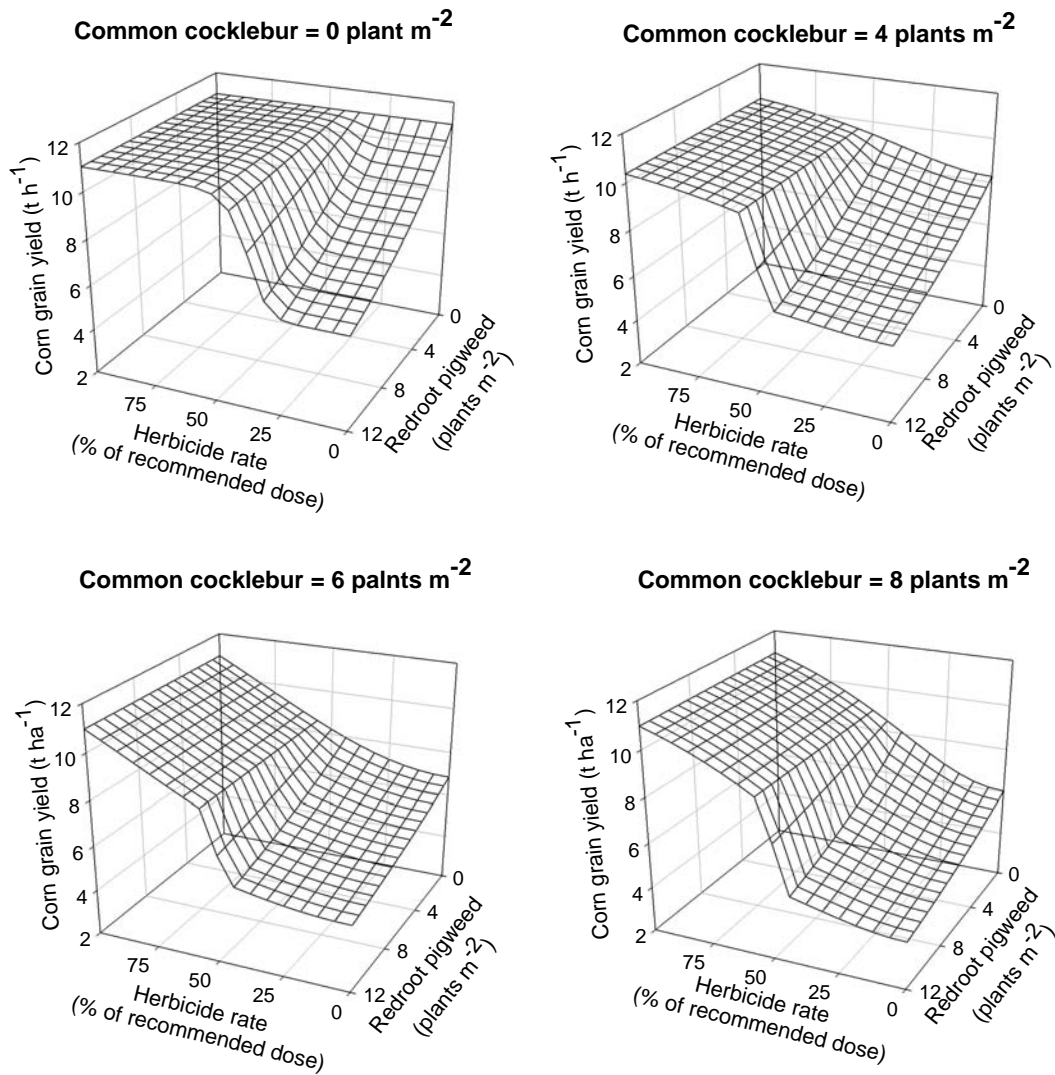
شکل ۱: رابطه بین توان رقابتی توتق (common cocklebur) و تاج خروس (redroot pigweed) با دزهای علف کش. برای توتق در رقابت تک گونه ای، تابع دز-ریسپانس و در دو گونه ای تابع برین-کنس و برای تاج خروس تابع دز-ریسپانس استاندارد برازش یافته است.

Figure 1. Relationship between competitiveness of common cocklebur (β_2) and redroot pigweed (β_1) and the herbicide doses.



شکل ۲: درصد کاهش عملکرد دانه ذرت در رقابت با دو گونه توتق (common cocklebur) و تاج خروس (redroot pigweed) تحت دزهای علف کش نیکوسولفورون (صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و دز کامل).

Figure 2. Predicted grain yield loss percentage of corn as affected by multiple weed competition of common cocklebur and redroot pigweed treated with a range of doses (0, 0.25, 0.5, 0.75, and full rate of the recommend dose) of herbicide nicosulfuron.

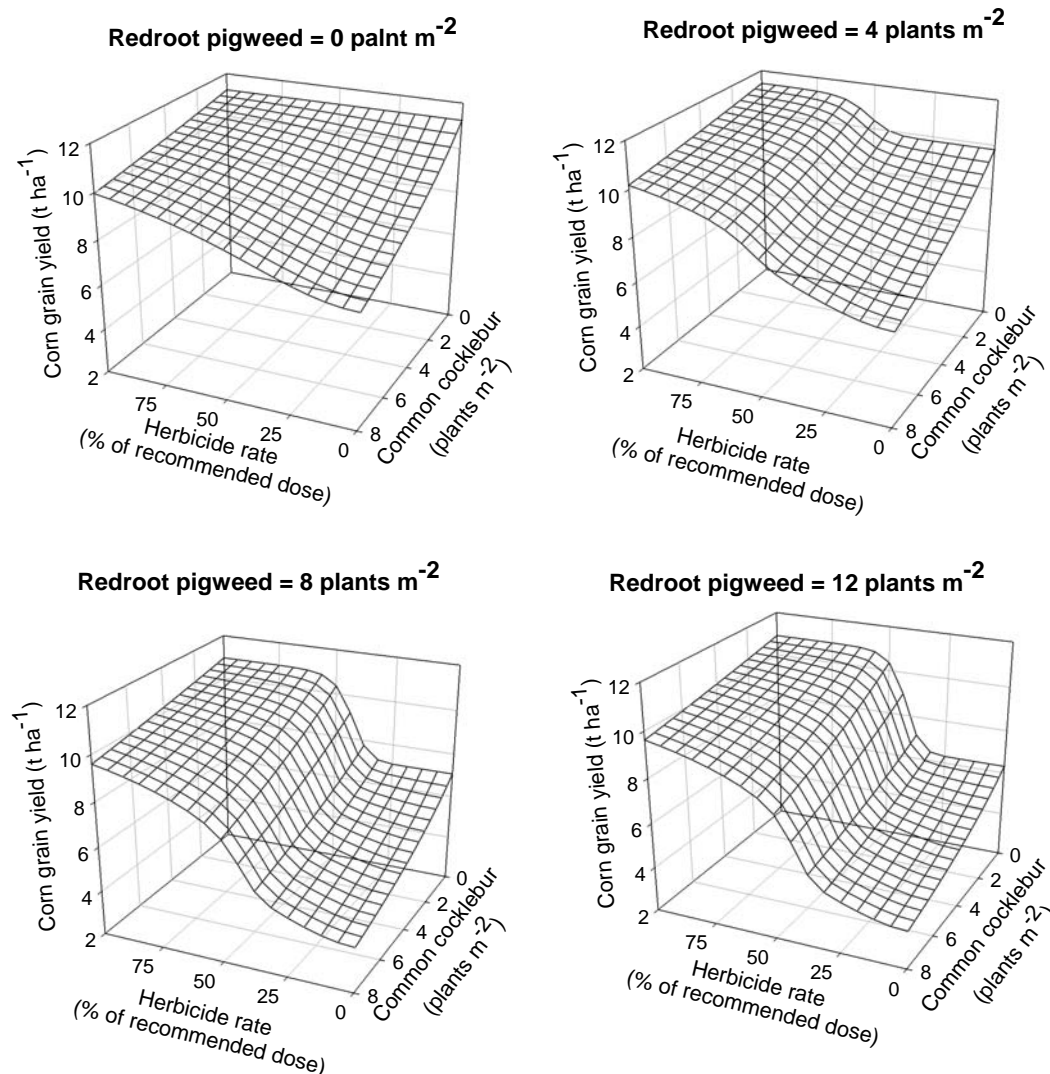


شکل ۳: عملکرد دانه ذرت در دزهای صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و دز کامل علف کش نیکوسولفورون و رقابت تراکم‌های مختلف تاج خروس (redroot pigweed) در ۴ تراکم صفر، ۴، ۶ و ۸ بوته ی توج (common cocklebur) در مترمربع برحسب مدل ۶.

Figure 3. Predicted grain yield of corn as affected by the herbicide nicosulfuron (0, 0.25, 0.5, 0.75, and full rate of the recommend dose) and redroot pigweed at 0, 4, 8 and 12 plants m⁻² with common cocklebur at 0, 4, 6 and 8 plants m⁻².

استاندارد را در نظر گرفته ناگزیر از این روند کاهشی است. اما در شرایطی که کاهش یک گونه با تقویت گونه دیگر همراه است مدل ۴ ممکن است پارامترها را چیزی کمتر از مقدار واقعی تخمین بزند. همچنانکه توان رقابتی توج در شرایط بدون علف کش با مدل ۴ حدود ۱/۴۵ مرتبه بیش از تاج خروس بود در حالیکه پیش بینی مدل ۶ توان رقابتی توج را حدوداً ۱/۷ مرتبه بالاتر از تاج خروس برآورد نمود. شیب پیش بینی شده هم کاملاً تفاوت داشت (جدول ۳). در مراحل توسعه ی مدل ۶، پاسخ هریک از گونه های توج و تاج خروس به علف کش در دزهای مختلف بررسی شد و به ترتیب رفتار گونه های فوق با زیر-مدل های برین-کزنس و دز-ریسپانس با دقت بالایی توصیف شد. با توجه به برازش بسیار خوب این مدل ها، تلفیق آنها بعنوان زیر-مدل در مدل هذلولی مستطیلی نیز منجر به مدل ترکیبی ۶ شد که نسبت به مدل های قبلی ارائه شده پیش بینی بهتری ارائه نمود. نظر به حساسیت متفاوت گونه های مختلف علف هرز به علف کش و اثرات متقابل علف کش در رقابت چندگونه ای، تحقیقات بیشتر در این باره می تواند به مدل های عمومی تری دست یابد که رفتارهای متفاوت بیشتری را تحت پوشش پیش بینی خود قرار دهد. این تحقیق سعی نمود تا مدل رقابت چندگونه ای تحت دزهای علف کش را برای شرایطی که اثر متقابل علف کش در رقابت گونه ها افزایش توان رقابتی یک گونه در برابر دیگری را در پی داشته است کالیبره نماید. با توجه به پیش بینی مناسب مدل از عملکرد ذرت، می توان با بهره گیری از این مدل ها خسارت علف های هرز بر عملکرد را تحت غلظت های مختلف علف کش برآورد نمود و دز مناسب را برای کنترل علف های هرز و در نتیجه رسیدن به عملکرد مورد انتظار توصیه نمود. مدل های ترکیبی می توانند بعنوان رهیافتی در جهت کاهش مصرف علف کش ها در مدیریت علف های هرز بکار گرفته شوند.

تخمین پارامترها و مقایسه مدل ها در تحقیق حاضر نیز حذف اثر متقابل را جایز دانست. مدل هم به ظاهر قابل قبول بود. اما نگاهی به پاسخ ضرایب رقابتی گونه ها به دزهای علف کش (شکل ۱) و همزمانی کاهش تاج خروس و افزایش توج در دز ۲۵٪ دز کامل و در نهایت خسارت یکسان اتفاق افتاده در دزهای صفر و ۲۵٪ (شکل ۲)، نشانگر واکنش دیگری در سیستم رقابت است. پدیده افزایش رشد در دزهای پایین علف کش به هورمیس معروف است که معمولاً در اثر علف کشهای هورمونی و گاهاً با سایر علف کش ها مثل گلایفوسیت نیز بروز می کند (Miller *et al.*, 1982; Freney, 1965; Wiedman and Appleby, 1972; Schabenberger *et al.*, 1999). اما محققان براین امر اذعان دارند که این اتفاق کاملاً به ماهیت علف کش بستگی دارد (Jensen and Kudsk, 1988). کسی از یک علف کش بازدارنده استولاکتات سنتتاز مثل نیکوسولفورون انتظار اثر هورمیتیک ندارد یا لا اقل گزارشی در این باره نیست. شاید نزدیکترین احتمال برای این حادثه اثر متقابلی است که بین توان رقابتی توج و کاربرد علف کش (تراکم توج * دز علف کش) در حضور تاج خروس رخ داده است. دو راه برای وارد کردن اثر متقابل در مدل وجود دارد. یکی گذاشتن مستقیم پارامتر در مدل است که تخمین پارامترها و مقایسات مدل ها نشان داد که بود یا نبود پارامتر α ، تغییر معنی داری در توان پیش بینی و توصیف مدل ایجاد نمی کند (جدول ۱). راه دیگر توجه به اثرات متقابلی که بین علف کش و گونه ها ممکن است رخ دهد استفاده از زیر-مدل هایی در مدل ترکیبی است که بیان جزئی و دقیقتری از تغییرات هرگونه تحت دزهای علف کش ارائه کرده و احتمالاً بازتابی از اثرات متقابل را نیز توصیف و پیش بینی کند (مانند مدل ۶). در حقیقت، اثر متقابل به نحوی غیرمستقیم تا حدی در مدل لحاظ شود. سرنوشت مدل دز-ریسپانس استاندارد (رابطه ۳) همیشه کاهش با افزایش دز است و مدل ترکیبی دو گونه ای (رابطه ۴) که برای هر دو گونه زیر-مدل دز-ریسپانس



شکل ۴: عملکرد دانه ذرت در دزهای صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و دز کامل علف کش نیکوسولفورون و رقابت تراکم های مختلف توج (common cocklebur) در ۴ تراکم صفر، ۴، ۸ و ۱۲ بوته ی تاج خروس (redroot pigweed) در متر مربع.

Figure 4. Predicted grain yield of corn as affected by the herbicide nicosulfuron (0, 0.25, 0.5, 0.75, and full rate of the recommend dose) and common cocklebur at 0, 4, 6 and 8 plants m⁻² with redroot pigweed at 0, 4, 8 and 12 plants m⁻² at 0, 4, 8 and 12 plants m⁻².

منابع

- Aarts, H. F. M and De Visser, C. L. M. 1985. A management information system for weed control in winter wheat. Pages 676–686 in Proceedings 1985 Brighton Crop Protection Conference – Weeds, Brighton, UK.
- Berti, A. and Zanin, G. 1994. Density equivalent: a method for forecasting yield loss caused by mixed weed populations. Weed Res. 34: 327–332.
- Brain, P. and Cousens, R. 1989. An Equation to describe dose responses where there is stimulation of growth at low doses. Weed Res. 29: 93–96.
- Brain, P., Wilson, B. J., Wright, K. J. Seavers, G. P. and J. C. Caseley. 1999. Modelling the effect of crop and weed on herbicide efficacy in wheat. Weed Res. 39: 21–35.

- Burnham, K. P. and Anderson, D. R. eds. 2002. Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach. New York: Springer-Verlag.
- Caseley, J. C. 1990. Optimising herbicide performance. Pages 347-357 In Proceeding 7th EWRS Symposium: Integrated Weed Management in Cereals, Helsinki.
- Coble, H. D. and Mortensen, D. A. 1992. The threshold concepts and its application to weed science. *Weed Technol.* 6: 191-195.
- Courtney, A. D., 1994. Density dependent relationships to herbicide response. Pages 35-46 in BCPC Monograph no. 59: Comparing glasshouse and field pesticide performance II.
- Cousens, R. 1985. A simple model relating yield loss to weed density. *Ann. Appl. Biol.* 107: 239-252.
- Cowan, P., Weaver, S.E.A. and C. J. Swanton. 1998. Interference between pigweed (*Amaranthus* spp.), barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*), and soybean (*Glycine max*). *Weed Sci.* 46: 533-539.
- Davies, D.H.K., Fisher, N. M., Proven, M. J. Whytock, G. P. and Courtney, A. D. 1995. Risk evaluation of reduced dose approaches to weed control in cereals. Pages 459-466 In Preceeding 9th EWRS Symposium: Challenges for *Weed Science* in a Changing Europe.
- DuPont Agricultural Products (Basic manufacturer). 1995. Toxicology Network: Nicosulfuron. Pesticide Information Project of Cooperative Extension Offices of Cornell University, Michigan State University, Oregon State University, and University of California at Davis the Extension, www.pnep.com
- Federer, T. W. 2005. Augmented Split Block Experiment Design. *Agron. J.* 97: 578-586.
- Freney, J. R. 1965. Increased growth and uptake of nutrients by corn plants treated with low levels of simazine. *Aust. J. Agri. Res.* 16: 257-263.
- Hakansson, S. 1986. Competition between crops and weeds – influencing factors, experimental methods and research needs. Pages 49-60 In Proceedings 1986 EWRS Symposium, Economic Weed Control, Stuttgart, Germany.
- Jensen, P. K. and Kudsk, P. 1988. Prediction of herbicide activity. *Weed Res.* 28:473-478.
- Kim, D. S., Brain, P., Marshall, E.J.P. and Caseley, J. C. 2002. Modelling herbicide dose and weed density effects on crop: weed competition. *Weed Res.* 42: 1-13.
- Kim, D. S., Marshall, E. J. P., Caseley, J. C. and Brain, P. 2006. Modelling interactions between herbicide dose and multiple weed species interference in crop-weed competition. *Weed Res.* 46: 175-184.
- Miller, M. D., Mikkelsen, D. S. and Huffaker, R. C. 1962. Effects of stimulatory and inhibitory levels of 2,4-D, iron, and chelate supplements on juvenile growth of field beans. *Crop Sci.* 2: 111-114.
- Mirzaii, R., Rostami, M., Oveisi, M., Bannayan, M. and Baghestani, M. A. 2005. Economic threshold and yield losses of grain corn (*Zea mays* L.) in competition with redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.). *Appli. Ent. Phytopath.* (In Persian, abstract in English). 73: 121-129.
- Mojeni, H. K. 2008. Ecophysiological aspects of mutual competition of common cocklebur (*Xanthium strumarium*) and jimsonweed (*Datura stramonium*) with corn (*Zea mays*) . PhD dissertation (in Persian), University of Tehran, Iran. 220 p.
- Motulsky, H. J., Christopoulos. 2003. Fitting models to biological data using linear and nonlinear regression. A practical guide to curve fitting. GraphPad Software Inc., San Diego CA, Available at <http://www.graphpad.com>. Accessed: Jun 19 2007.
- Mousavi, M. 2001. Integrated Weed Management. Mi'ad publication, Tehran, Iran . 468 p.
- Salonen, J., 1993. Reducing herbicide use in spring cereal production. *Agricultural Science Finland* 2 (Suppl. 2) 42 p.
- Schabenberger, O., Tharp, B. E., Kells, J. J., and Penner, D. 1999. Statistical Tests for Hormesis and Effective Dosages in Herbicide Dose Response. *Agron. J.* 91: 713-721.
- Streibig, J. C. 1980. Models for curve fitting herbicide dose response data. *Acta Agric. Scandinavia*, 30: 59-64.
- Swinton, S. M., Buhler, D. Forcella, D. F. Gunsolus, J. L. and King, R. P. 1994. Estimation of crop yield loss due to interference by multiple weed species. *Weed Sci.* 42: 103-109.
- Van Acker, R. C., Lutman, P.J.W. and Froud-Williams, R.J. 1998. Additive infestation model (AIM) analysis for the study of two-weed species interference. *Weed Res.* 38: 275-281.

Wiedman, S. J. and Appleby, A. P. 1972. Plant growth stimulation by sub-lethal concentrations of herbicides. *Weed Res.* 12: 65–74.

Wilson, B. J. 1986. Yield response of winter cereals to the control of broad-leaved weeds. Pages 75–82 In: Proc. of 1986 EWRS Symposium, Economic Weed Control, Stuttgart, Germany.

Wilson, B. J., Wright, K. J. P., Brain, Clements, M. and Stephens, E. 1995. Predicting the competitive effects of weed and crop density on weed biomass, weed seed production and crop yield in wheat. *Weed Res.* 35: 265–278.

Modelling Herbicide Dose Effect and Multiple Weed Species interference in corn

Mostafa Oveisi^{1*}, Hamid Rahimian-Mashhadi¹, Mohammad Ali Baghestani², Hassan Alizade¹

¹ Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Tehran, Karaj, Iran; ² Iranian Research Institute of Plant Protection, Tehran, Iran.

Abstract

Field experiments were conducted to investigate the effect of herbicide doses on corn-multiple weed competition. Sixteen weed density combinations consisting of 4 densities of redroot pigweed \times 4 densities of common cocklebur under five doses of herbicide were assessed. The two weed species responded differently to herbicide doses. Competitiveness of redroot pigweed decreased with increasing herbicide dose and was completely removed by applying herbicide at 0.5 of full recommended dose, but for common cocklebur an initial increase occurred at 0.25 rate of full dosage. The relationship between weed competitiveness and herbicide dose was well-described by standard dose response curve and Brain & Cousens model for redroot pigweed and common cocklebur, respectively. A combined model incorporated standard dose response curve and Brain & Cousens function into the multivariate rectangular hyperbola competition model gave a good description of corn yield. When no herbicide was applied, the competitiveness of common cocklebur was approximately 1.7 times greater than that of redroot pigweed and 63% of yield loss occurred from the combination of 8 common cocklebur and 12 redroot pigweed plants m^{-2} . Where the density of common cocklebur was low (0 to 4 plants m^{-2}) applying herbicide at half the full recommended dose could save the yield, but with increase in common cocklebur density, the herbicide reduced doses failed to prevent the yield loss. Even at full recommended dose of herbicide, corn yield suffered loss of 6 to 10 percent from high density of common cocklebur.

Nomenclature: Nicosulfuron; common cocklebur, *Xanthium strumarium* L.; redroot pigweed, *Amaranthus retroflexus* L.; corn, *Zea mays* L.

Keywords: Multiple weed competition, herbicide reduced dose, dose response, corn yield.