مجله پژوهش علف‌های هرز
جلد ۷، شماره ۱، ۱۳۹۴
صفحات ۶۴ - ۴۹

برهمکنش دزهای مختلف علف‌کش نیکوسولفورون و رقابت چند گونه‌ی علف‌های هرز با ذرت: ارتباط شاخص‌های زانتیوم، آمارانتوس و ذرت تحت غلظت‌های علف‌کش

Interactions between maize-weed competition and herbicide dose: relationships among the components of *Xanthium strumarium*, *Amaranthus retrolexus* and *Zea maize* under herbicide dose

مصطفی اویسی[1*]، حمید رحیمیان مشهدی[1]، الیاس سلطانی[1]، مریم نراقی[2]

چکیده:

آزمایش مزرعه‌ای طی دو سال (۱۳۸۷-۱۳۸۶) به‌منظور شناخت تغییرات شاخص‌های رشد مربوط به ذرت، زانتیوم و آمارانتوس در غلظت‌های مختلف علف‌کش اجرا شد. پنج غلظت علف‌کش نیکوسولفورون به‌عنوان کرت‌های اصلی و ۱۶ ترکیب تراکمی شامل ۴ تراکم آمارانتوس × ۴ تراکم زانتیوم به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی در قالب یک طرح اسپلیت فاکتوریل در یک تکرار طراحی شد. عملکرد دانه، زیست‌توده، سطح برگ و ارتفاع، به‌عنوان شاخص‌های اصلی تغییرات ذرت در رقابت انتخاب شد. زیست‌توده، شاخص سطح برگ و ارتفاع هر یک بر عملکرد مؤثر بود؛ ولی زیست‌توده، بیشترین مقدار ضریب همبستگی را داشت. زیست‌توده‌ی ذرت مستقیماً با مقدار شاخص سطح برگ آن در ارتباط بود و مهم‌ترین فاکتور تعیین‌کننده در میزان سطح برگ، از میان تمامی اجزای اندازه‌گیری شده، ارتفاع ذرت شناخته شد. افزایش عملکرد دانه، در تغییرات ارتفاع ذرت نهفته است. افزایش زیست‌توده‌ی زانتیوم بیشترین اثر کاهشی را بر عملکرد دانه‌ی ذرت داشت. آنچه زیست‌توده‌ی زانتیوم را مستقیماً هدایت می‌نمود، سطح برگ نسبی زانتیوم بود که خود، به‌شدت تحت تأثیر شاخص سطح برگ زانتیوم قرار داشت. مهم‌ترین شاخص در تعیین اندازه‌ی سطح برگ، تعداد شاخه یا انشعابات کوچک فرعی بر روی ساقه بود که در حقیقت منشأ برگ‌های زانتیوم بودند. در مجموع مسیر اصلی تغییرات زانتیوم به‌صورت «زیست‌توده< سطح برگ نسبی< شاخص سطح برگ< تعداد انشعابات فرعی< ارتفاع» بود. از میان عوامل بیرونی اگرچه تراکم علف‌های هرز نیز در نتایج مؤثر بود اما بااهمیت‌ترین عامل، غلظت علف‌کش است که ارتفاع زانتیوم را تغییر داد و از آن مسیر واکنش‌ها را تا تغییر عملکرد پیش برد. از میان شاخص‌های اندازه‌گیری شده‌ی آمارانتوس، سطح برگ نسبی، بیشتر از بقیه، عملکرد ذرت را تحت تأثیر قرار داد. شاخص سطح برگ آمارانتوس نیز رابطه مستقیم با میزان زیست‌توده نشان داد. شناخت دقیق عناصر سیستم، رفتار، حساسیت‌ها و واکنش‌های متقابل گونه‌های درحال رقابت، تحت تأثیر علف‌کش‌ها، درک روشنی از سیستم را پیش روی مدیریت علف‌های هرز قرار خواهد داد که قطعاً در موفّقیت آن موثّر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع گیاه، زیست‌توده، سطح برگ، عملکرد دانه

مقدمه

توان رقابتی گیاه زراعی ازجمله عوامل مؤثر در کاهش میزان مصرف علف‌کش‌ها به شمار می‌رود که در سال‌های اخیر، به‌عنوان رهیافتی در جهت کاهش کاربرد علف‌کش‌ها مطرح است. درک

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۱۱

۱- اعضای هیات علمی دانشگاه تهران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تهران
*- نویسنده مسئول E-mail: moveisi@ut.ac.ir

صحیح از این روابط می‌تواند راه‌حل‌هایی را روشن کند که کمی از نگرانی‌های زیست‌محیطی و اقتصادی ناشی از مصرف سموم بکاهد (Brain *et al.*, 1999). برهمکنش علف‌کش‌ها و روابط رقابتی علف‌های هرز و محصول زراعی بارها مورد مطالعه قرار گرفته است (Salonen, 1993).

برین و مارشال (Brain & Marshall, 1999) و کیم و همکاران (Kim *et al.*, 2006) نخستین بار با ترکیب مدل غلظت-واکنش[1] (Steinberg, 1980) و مدل هذلولی مستطیلی[2] (Cousens, 1985; Wilson *et al.*, 1995) و ساختن یک مدل ترکیبی، تأثیر غلظت‌های علف‌کش و رقابت علف‌های هرز را بر عملکرد محصول پیش‌بینی نمودند. علف‌کش یک عامل بیرونی است که به محیط رقابت گیاهی وارد می‌شود. در محیط رقابت، عوامل زیادی وجود دارد که با کاربرد علف‌کش به نحوی تغییر می‌کنند. برخی صفات حساس‌تر و برخی دیگر تحمل بیشتری نشان می‌دهند. بخش‌هایی از سیستم نیز ممکن است واکنش مستقیمی نداشته باشند (Kim *et al.*, 2006). وقتی رقابت علف‌های هرز با گیاه زراعی را قبل و بعد از پاشش علف‌کش باهم مقایسه کنیم، تغییرات زیادی به چشم می‌خورد. پس از کاربرد علف‌کش، دوباره سیستم تلاش می‌کند تا تعادلِ ازدست‌رفته به محیط بازگردد. بدیهی است که ضعیف شدن یا حذف برخی از اجزای سیستم، فضا را برای سایرین که به عامل بیرونی متحمل بوده‌اند بازتر می‌کند (Oveisi *et al.*, 2008).

علف‌های هرز زانتیوم (*Xanthium strumarium* L.) و آمارانتوس ریشه‌قرمز (*Amaranthus retroflexus* L.) معمولاً در ترکیب گونه‌ای علف‌های هرز در ذرت حضور دارند و به ترتیب ۶۰٪ (Mojeni, 2008) و ۴۵٪ (Mirzaii *et al.*, 2005) کاهش محصول در ذرت از تراکم‌های بالای این دو گونه گزارش شده‌است. اویسی و همکاران (Oveisi *et al.*, 2008) به ارزیابی و مدل‌سازی رقابت توأم این دو گونه تحت کاربرد غلظت‌های علف‌کش نیکوسولفورون در ذرت پرداختند. بر اساس گزارش آن‌ها آمارانتوس حساس و زانتیوم نسبتاً متحمل نسبت به این علف‌کش بود. در شرایط مصرف غلظت‌های کاهش‌یافته روابط رقابتی گونه‌ها ممکن است در هر غلظت، شکلی خاص به خود بگیرد. این مطالعه به شناخت تغییرات شاخص‌های رشدی مربوط به ذرت، زانتیوم و آمارانتوس در بازه‌ای از غلظت‌های علف‌کش پرداخته و بعد ارتباط شاخص‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد. هدف این بررسی تشخیص تغییرات نسبی شاخص‌های رشد علف‌های هرز و ذرت نسبت به یکدیگر تحت تأثیر رقابت چندگونه‌ای و کاربرد غلظت‌های علف‌کش به‌منظور شناخت مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در عملکرد ذرت می‌باشد.

مواد و روش‌ها:

آزمایش مزرعه‌ای طی دو سال (۱۳۸۶ و ۱۳۸۷) در مزرعه‌ی 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 ۱۳۱۲ متر و متوسط بارندگی سالانه ۲۴۱ میلی‌متر اجرا شد. خاک مزرعه رسی- لومی

[1]. Dose - response
[2]. Rectangular hyperbolic model

شامل ۲۸/۶٪ شن، ۴۰٪ سیلت و ۳۱/۴ ٪ رس و pH خاک ۷/۱ و هدایت الکتریکی ۰/۳۸ µS/cm بود. درصد نیتروژن خاک ۰/۰۷٪، میزان فسفر ۲۱/۲ پی-پی‌ام و پتاسیم ۱۳۲ پی‌پی‌ام بود. عملیات آماده‌سازی بستر کاشت، شامل یک شخم عمیق در پائیز و دو دیسک در ابتدای بهار بود که با یک کولتیواتور تکمیل شد. کوددهی بر اساس آنالیز خاک و آبیاری با دور یک هفته بر اساس عرف محل انجام گرفت. پنج غلظت صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد غلظت توصیه‌شده‌ی علف‌کش نیکوسولفورون[1] (به میزان ۱/۵ لیتر در هکتار) به‌عنوان کرت‌های اصلی و ۱۶ ترکیب تراکمی شامل چهار تراکم آمارانتوس (صفر، ۴، ۸ و ۱۲ بوته در مترمربع) × ۴ تراکم زانتیوم (صفر، ۴، ۶، ۸ بوته در مترمربع) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی در قالب یک طرح اسپلیت فاکتوریل در یک تکرار طراحی شد (Kim *et al.*, 2006). برای محاسبه غیریکنواختی در کرت‌ها، سه تیمار عاری از علف‌هرز به‌عنوان شاهد و به‌صورت تصادفی در طول هر کرت پیش-بینی شد (Federer, 2005).

بیست اردیبهشت ۸۶ و ۸۷ ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ با تراکم ۶/۰۶ بوته در مترمربع و با فواصل ردیف ۰/۷۵ متر در کرت‌های ۴/۵ × ۳ متر کشت شد. زانتیوم و آمارانتوس نیز با فاصله‌ی ۱۵ سانتی‌متر در کنار ردیف‌های ذرت کاشته شد. بعد از سبز شدن ذرت و علف‌های هرز، بوته‌ها تنک شده و به تراکم مورد نظر رسیده و سایر علف‌های هرز نیز وجین شد. در مرحله چهار برگیِ ذرت هم-زمان با چهار برگی کامل زانتیوم و دو تا چهار برگی آمارانتوس، غلظت‌های علف‌کش با سم‌پاش پشتی با نازل شره‌ای که با فشار ۲۴۰ کیلو پاسکال و حجم ۲۵۰ لیتر در هکتار تنظیم شده بود، پاشیده شد.

نمونه‌برداری‌ها پس از کاربرد علف‌کش به فواصل دو هفته تا انتهای فصل انجام شد. در هر مرحله از نمونه‌برداری پس از انتقال مواد گیاهی به آزمایشگاه، مرحله‌ی فنولوژیک گیاه، ارتفاع، سطح برگ، زیست‌توده‌ی کل گیاه، وزن بلال و عملکرد دانه برای ذرت ثبت شد. برای زانتیوم و آمارانتوس نیز پس از ثبت مرحله‌ی فنولوژیکی، ارتفاع ساقه‌ی اصلی، تعداد شاخه‌های فرعی، ارتفاع شاخه‌های فرعی، سطح برگ، وزن برگ، میزان سطح برگ در لایه‌های کانوپی و زیست‌توده کل علف هرز اندازه‌گیری و پس‌ازآن شاخص‌هایی مثل نسبت وزن برگ به زیست‌توده‌ی کل، نسبت ارتفاع شاخه‌های فرعی به ساقه‌ی اصلی و سطح برگ نسبی هر گونه (نسبت سطح برگ هر گونه به سطح برگ کل گونه‌ها) در واحد سطح محاسبه شد. برداشت ذرت پس از رسیدن، از دو ردیف میانی انجام شد (به گونه‌ای که در هر ردیف یک متر برای نمونه-گیری در نظر گرفته شد). سپس عملکرد دانه در واحد سطح اندازه‌گیرید.

به‌منظور بررسی ارتباط بین شاخص‌های علف هرز با شاخص‌های ذرت که با غلظت‌های علف-کش نیکوسولفورون تیمار شده بود زیست‌توده‌ها از روش‌های CCA[2] و RA[3] استفاده شد. شاخص‌های مربوط به علف‌های هرز به‌عنوان تیمارهای آزمایش مجموعه متغیرهای مستقل (ماتریس اول) و

۱- Samsun w/v %4 SC فرمولاسیون : سانسون

[2]. Canonical Correlation Analysis
[3]. Redundancy Analysis

شاخص‌های ذرت در پاسخ به ترکیبات تراکمی علف‌های هرز به‌عنوان مجموعه متغیرهای وابسته (ماتریس دوم) در نظر گرفته شد. اجرای روش‌ها با نرم‌افزار SAS و با رویه‌ی CANCOR و TRANSREG به ترتیب برای تجزیه CCA و RA انجام شد. تست مونت‌کارلو نیز به‌منظور ارزیابی ارتباط دو ماتریس با کمک نرم‌افزار PCord 4.0 (PC ordination) صورت گرفت (Ter Braak, 1988). در نهایت برای شناخت اثرات مستقیم و غیرمستقیم شاخص‌ها بر یکدیگر و دست‌یابی به مدلی ساختاری که مسیر تأثیرات در سیستم را نشان دهد، از تحلیل مسیر[1] استفاده شد.

نتایج و بحث:

نتایج مربوط به رقابت علف‌های هرز با ذرت و تغییرات عملکرد تحت تأثیر غلظت‌های علف‌کش و رقابت چندگونه‌ای علف‌های هرز در مقاله‌ای (Oveisi *et al.*, 2008) آمده است. با توجه به برهمکنش گونه‌ها در رقابت چندگونه‌ای، شاخص‌های رشدی گیاهان در رقابت، اعم از علف‌های هرز و گیاهان زراعی در پاسخ به گیاه مجاور دستخوش تغییر می‌گردد. این شاخص‌ها در درون هر گیاه نیز به‌شدت با شاخص‌های دیگر همبستگی دارند و تغییر هرکدام، دیگری را نیز تغییر می‌دهد (جدول ۱). مثلاً سطح برگ زانتیوم همبستگی مثبت بالایی با ارتفاع آن نشان داد و هرچه ارتفاع بیشتر شد، سطح برگ نیز افزایش یافت. زیست‌توده‌ی زانتیوم نیز رابطه مثبت قویی با سطح برگ داشت و افزایش هر یک، با افزایش دیگری همراه بود (جدول ۱). سطح برگ نسبی زانتیوم در واحد سطح نیز، با میزان شاخص سطح برگ زانتیوم، روند نسبتاً مشابهی نشان داد. در مقابل بین نسبت طول شاخه‌های فرعی به ساقه‌ی اصلی در زانتیوم ($X_{L/M}$) با زیست‌توده همبستگی منفی مشاهده شد (جدول ۱). باوجود ارتباط منفی $X_{L/M}$ با شاخص سطح برگ زانتیوم، این نسبت با سطح برگ نسبی زانتیوم ارتباط مثبت داشت (جدول ۱). برای آمارانتوس نیز، نتایجی به همین ترتیب به دست آمد. مثلاً بین ارتفاع آمارانتوس با شاخص سطح برگ و زیست‌توده‌ی آمارانتوس و یا بین زیست‌توده و سطح برگ آن ضریب همبستگی مثبت و نسبتاً بالایی وجود داشت (جدول ۱).

در ذرت نیز روابطی از این دست مشاهده شد. به‌عنوان‌مثال، زیست‌توده‌ی ذرت بیشترین ارتباط مثبت (۰/۸۱۵) را با عملکرد دانه‌ی ذرت نشان داد. سایر ویژگی‌ها نظیر شاخص سطح برگ و ارتفاع ذرت نیز، در عملکرد تأثیر مثبت داشتند (جدول ۱).

وقتی اثرات شاخص‌های گونه‌ها بر یکدیگر در روابط بین‌گونه‌ای موردتوجه قرار می‌گیرد، پاسخ برخی از ارتباطات مبهم درون‌گونه‌ای نیز روشن می‌شود. مثلاً چرا کاهش نسبت $X_{L/M}$ با شاخص سطح برگ زانتیوم رابطه منفی داشت، ولی در مقابل سطح برگ نسبی زانتیوم بیشتر شد؟

پاسخ در تغییرات شاخص سطح برگ آمارانتوس است که با نسبت $X_{L/M}$ رابطه‌ی عکس دارد. سطح برگ آمارانتوس با مقدار نسبت $X_{L/M}$ همبستگی منفی نشان داد. شاخص سطح برگ زانتیوم نیز با این شاخص همبستگی منفی داشت (جدول ۱)، ولی نسبت آن در واحد سطح نسبت به گونه‌ی دیگر بیشتر شد. در کل بین شاخص‌های

[1]. Path Analysis

علف‌هرز و ذرت غالباً ارتباط عکس بود. منفی‌ترین همبستگی با عملکرد ذرت را، زیست‌توده‌ی زانتیوم نشان داد (جدول ۱)؛ اما در بین همبستگی‌های جدول ۱ اعداد مبهم و سؤال‌برانگیزی وجود دارد. مثلاً رابطه منفی بین نسبت $X_{L/M}$ با سطح برگ و زیست‌توده آمارانتوس. در نگاه اول شاید به نظر برسد که شاخص $X_{L/M}$، ویژگی خاصی را در زانتیوم ایجاد کرده است که به‌واسطه‌ی آن توان رقابتی زانتیوم و یا شاید محصول افزوده‌شده و باعث کاهش سطح برگ و زیست‌توده‌ی آمارانتوس شده است؛ اما باید توجه داشت که پیش از تحلیل ارتباط بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده در گونه‌ها با کمک تجزیه‌ی چندمتغیره، علف‌های هرز با تراکم‌های مختلف در ترکیب رقابتی قرارگرفته و با غلظت‌های مختلف علف‌کش تیمار شده‌اند. به عبارتی اثر این تیمارها به نحوی در متغیرهای مستقل و وابسته، نهفته است. بنابراین مسیری که از تغییرات در شاخص‌های گونه‌ها، گذشته و به تغییرات عملکرد ذرت ختم می‌شود، ممکن است از هریک از این تیمارها (عوامل بیرونی) تأثیر تعیین‌کننده‌ی اولیه‌ای پذیرفته باشد. تحلیل مسیر[1] می‌تواند تصویری ارائه دهد که در آن روابط عوامل سیستم، اعم از بیرونی و درونی، بهتر درک شود.

مقادیر ویژه[2] و درصد واریانس توصیف‌شده[3] و نیز Pooled R_c^2 (جدول ۲) نشانگر توصیف بیش از ۹۰ درصد تغییرات توسط محورهای ۱ و ۲ بود. در مجموع بر اساس پاسخ شاخص‌های مختلف ذرت و علف‌های هرز به تیمارهای آزمایشی، تیمارها به الگوی پراکنش شکل ۱ حول محورهای اول و دوم رسیدند.

توجه به ماهیت نقاط نشان می‌دهد که غالباً تقسیم‌بندی‌ها بر اساس غلظت علف‌کش صورت گرفته است و بیشتر نقاطی که در سطح بای-پلات گرد هم آمده‌اند، از غلظت‌های یکسانی برخوردارند. نقاط استثناء هم به ترکیبات تراکمی خاص برمی‌گشت که قابل‌انتظار بود. مثلاً تیمارهای تراکمی تک‌گونه‌ای آمارانتوس در غلظت ۵۰٪ که با کاربرد علف‌کش، کاملاً عاری از علف‌هرز شد و یا تیمارهای ذرت خالص یا در رقابت با تراکم‌های پایین علف‌هرز که در نزدیکی نقاط کاربرد غلظت کامل قرار گرفت و عملکردی برابر یا نزدیک به عملکرد شاهد نشان داد. تراکم‌های بالای زانتیوم هم که با غلظت ۷۵٪ به‌خوبی کنترل نشد، به سمت حلقه‌ی تمرکز تیمارهای غلظت نصف، تمایل نشان داد (شکل ۱). بردارهای معرف همبستگی و پراکنش شاخص‌های مربوط به ذرت و علف‌هرز، حاکی از تمایل شاخص‌های مربوط به توان رقابت و عملکرد ذرت به سمت راست نمودار (مقادیر مثبت محور ۱) و گرایش و کشش شاخص‌های مربوط به علف‌های هرز به سمت چپ نمودار، یعنی غلظت-های صفر و ۲۵٪ بود (مقادیر منفی محور ۱ شکل ۲). در این بین شاخص $X_{L/M}$ در زانتیوم اختصاصاً به سمت تیمارهای غلظت ۵۰٪ کشیده شد. نسبت $X_{L/M}$ در غلظت ۵۰٪ افزایش یافت. از طرفی غلظت نصف، آمارانتوس را کاملاً کنترل کرد و تقریباً اثری از این گیاه در تیمارها باقی نگذاشت. در حقیقت رابطه‌ی منفی شاخص $X_{L/M}$ با سطح برگ آمارانتوس نیز، به دلیل کاربرد غلظت ۵۰ درصد

[1]. Path Analysis
[2]. Eigenvalues
[3]. Percent of variance explained

بوده است. به‌این‌ترتیب که کاربرد این غلظت، باعث افزایش $X_{L/M}$، کاهش شاخص سطح برگ آمارانتوس و افزایش سطح برگ نسبی زانتیوم شد.

چهار شاخص به‌عنوان شاخص‌های اصلی تغییرات ذرت در رقابت انتخاب شد: عملکرد دانه، زیست‌توده، سطح برگ و ارتفاع. سه عامل زیست‌توده، شاخص سطح برگ و ارتفاع هر یک می‌توانند بر عملکرد مؤثر باشند، ولی زیست‌توده با داشتن بیشترین مقدار بتا (ضریب همبستگی) (جدول ۳)، به‌عنوان عامل مستقیم انتخاب شد (شکل ۳). مقایسه‌ی مقادیر بتا در گام‌های بعدی نشان داد که زیست‌توده‌ی ذرت مستقیماً با مقدار شاخص سطح برگ آن در ارتباط است و تعیین‌کننده‌ترین فاکتور در میزان سطح برگ، از میان تمامی اجزای اندازه‌گیری‌شده، ارتفاع ذرت بود (شکل ۳).

بر این اساس، افزایش عملکرد دانه، در تغییرات ارتفاع ذرت نهفته است. مشاهدات مزرعه‌ای نیز نشان داد که ارتفاع، شاخص خوبی است که با آن به‌طور چشمی پلات‌های ذرت قوی و با عملکرد بالا از آن‌ها که آسیب جدی در رقابت دیده‌اند شناخته شود. هر عاملی که ارتفاع را دستخوش تغییر نماید، تأثیرات آن در بقیه‌ی شاخص‌های رشدی و درنهایت عملکرد بروز خواهد کرد. پژوهشگران زیادی ارتفاعِ ذرت را عامل مهم رقابت دانستند (Loomis *et al.*, 1968; Tetio-Kagho, 1988; Cavero *et al.*, 1999).

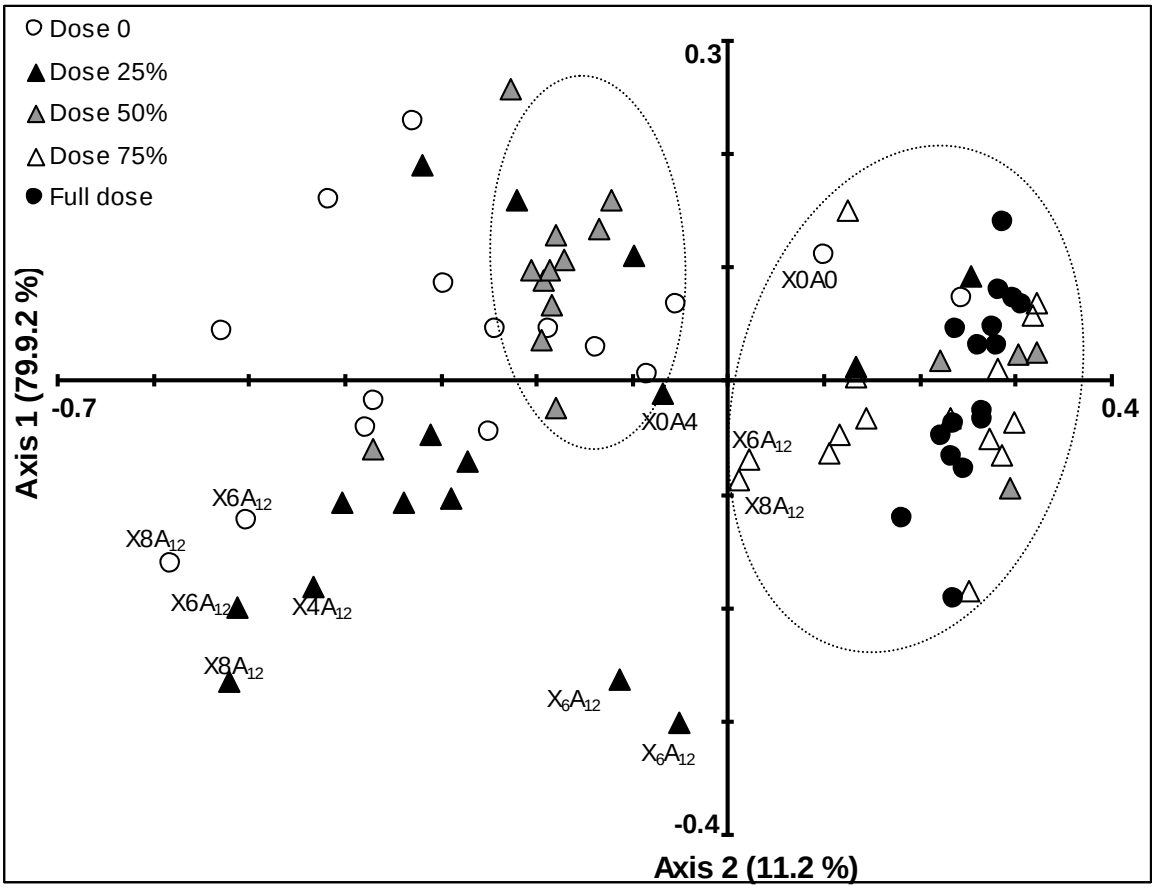
به اعتقاد آنان اختلاف ارتفاعی که بین ذرت و علف‌های هرز اتفاق می‌افتد، منشأ اصلی اختلاف توان رقابتی است و این اختلاف، غالباً در ابتدای فصل و در اختلاف زمان رویش، بین ذرت و علف‌هرز اتفاق می‌افتد (Cavero *et al.*, 1999). حال اگر بین غلظت‌های علف‌کش و ارتفاع ذرت رگرسیون بگیریم، مشاهده خواهد شد که با افزایش غلظت، میانگین ارتفاع افزایش پیدا می‌کند و این ارتباط با یک تابع لجستیک و البته با ضریب رگرسیون بالایی قابل توصیف است (شکل ۴)؛ اما کاربرد علف‌کش سیستم را در چه مسیری قرار می‌دهد که درنهایت منجر به تغییر اساسی شاخص‌های مربوط به ذرت شده و بین کاربرد علف‌کش و این شاخص‌ها چنین همبستگی بالایی مشاهده می‌شود؟

در زانتیوم شاخص‌های زیادی وجود دارد که با یکدیگر و با شاخص‌های دو گونه‌ی دیگر در ارتباطند (جدول ۱). با کمک تحلیل مسیر، ترتیب تأثیر عوامل و اثرات مستقیم و غیرمستقیم از هم تمیز داده می‌شود. از روابط همبستگی کانونیک (به‌دست‌آمده از CCA) می‌شود نتیجه گرفت که افزایش زیست‌توده‌ی زانتیوم بیشترین اثر کاهشی را بر عملکرد دانه‌ی ذرت داشت (جدول ۱). بنابراین زیست‌توده، به‌عنوان تعیین‌کننده‌ترین شاخص زانتیوم در خانه‌ی آخر تحلیل مسیر (متغیر وابسته‌ی اصلی) شاخص‌های زانتیوم جای گرفت (جدول ۴ و شکل ۵). غلظت علف‌کش و تراکم زانتیوم و آمارانتوس نیز که تیمارهای آزمایشی بودند، این بار به‌عنوان عوامل بیرونی در تحلیل مسیر لحاظ شدند تا روشن شود که این تیمارها کدام نقاط را در شاخص‌های رقابتی علف‌های هرز تحت تأثیر قرار داده‌اند. بسیاری از شاخص‌های انتخاب‌شده برای تحلیل مسیر، بر زیست‌توده‌ی زانتیوم تأثیر داشتند؛ اما از این میان آنچه زیست‌توده را مستقیماً هدایت می‌نمود، سطح برگ نسبی زانتیوم بود که خود،

به‌شدت تحت تأثیر شاخص سطح برگ زانتیوم قرار داشت. هرچه شاخص سطح برگ زانتیوم بیشتر بود، نسبت سطح برگ در واحد سطح نیز بالاتر بود (شکل ۵ و جدول ۴). با وجود تمام ارتباطاتی که غیرمستقیم، شاخص سطح برگ از آن‌ها متأثر بود، مهم‌ترین شاخص در تعیین اندازه‌ی سطح برگ، تعداد شاخه یا انشعابات کوچک فرعی روی ساقه بود که در حقیقت، منشأ برگ‌های زانتیوم بودند. تعداد این انشعابات روی ساقه‌های بلند که قاعدتاً فضا و شانس قرارگیری این جوانه‌های فرعی بیشتر است، به‌مراتب بالاتر بود. بر این اساس همچنان که ضریب بتا نیز نشان داد، مهم‌ترین شاخص در تعیین تعداد انشعابات فرعی، ارتفاع زانتیوم بود (شکل ۵ و جدول ۴). به اعتقاد کراف و همکاران تفاوت کوچکی در ارتفاع نسبی دو گونه در حال رقابت، می‌تواند منجر به تفاوت بزرگی در توان رقابتی گونه‌ها بشود. علف‌های هرز به‌خصوص آن‌ها که دارای رشد نامحدود هستند، مثل داتوره (*Datura stramonium*)، در شرایط رقابت برگ‌های خود را در لایه‌های بالاتر کانوپی متمرکز می‌کنند. در مورد داتوره بیش از ۸۰٪ سطح برگ در یک‌چهارم بالای ساقه تشکیل می‌شود (Cavero *et al.*, 1999). این ویژگی که از عوامل مؤثر در توان رقابتی علف‌های هرز محسوب می‌شود تا حد زیادی به ارتفاع گیاه نیز وابسته است (Pike *et al.*, 1990; Regnier & Stoller, 1989). عادت رشدی نامحدود در علف‌های هرز، باعث رشد زیاد ارتفاع در آن‌ها می‌شود (Stoller *et al.*, 1985) و ممکن است ارتفاع به بیش از ۲ متر نیز برسد. تحلیل مسیر شاخص‌های زانتیوم نیز ارتفاع را منشأ سایر تغییرات در زانتیوم تشخیص داد که در نهایت به تغییر در زیست‌توده‌ی زانتیوم ختم شد (جدول ۳ و شکل ۵). در مجموع مسیر اصلی تغییرات زانتیوم به ترتیب از راست به چپ به‌صورت «زیست‌توده< سطح برگ نسبی<شاخص سطح برگ< تعداد انشعابات فرعی<ارتفاع» بود. وقتی به عوامل بیرونی مسیر نگاه می‌کنیم اگرچه تراکم علف‌های هرز نیز در تعیین شکل مسیر مؤثرند، اما بااهمیت‌ترین عامل، غلظت علف‌کش است که ارتفاع زانتیوم را تغییر داد (شکل ۵) و از آن مسیر واکنش‌ها را تا تغییر عملکرد پیش برد.

از میان شاخص‌های اندازه‌گیری شده‌ی آمارانتوس، سطح برگ نسبی، بیشتر از بقیه، عملکرد ذرت را تحت تأثیر قرار می‌داد (جدول ۱). بنابراین متغیر وابسته‌ی اصلی در تحلیل مسیر تغییرات آمارانتوس، سطح برگ نسبی آمارانتوس بود (جدول ۵ و شکل ۶). واضح است که در میان شاخص‌های مربوط به خود گیاه در تعیین سطح برگ نسبی، چیزی مهم‌تر از شاخص سطح برگ نیست (شکل ۶). شاخص سطح برگ آمارانتوس نیز مستقیماً در کنترل مقدار زیست‌توده‌ی آمارانتوس شناخته شد. هر چه زیست‌توده‌ی علف‌هرز بیشتر شد، سطح برگ آن نیز افزایش یافت و بالعکس (جدول ۵). آخرین گام در تحلیل مسیر آمارانتوس، مؤید این بود که غلظت علف‌کش، مستقیم‌ترین عاملی است که با افزایش یا کاهش آن زیست‌توده‌ی آمارانتوس کم و زیاد خواهد شد (جدول ۵ و شکل ۶) و تأثیر تیمار تراکم علف‌های هرز در مقایسه با اثر علف‌کش بسیار کم‌رنگ بود.

کنار هم قرار دادن دو مدل تحلیلِ مسیر شاخص‌های زانتیوم و آمارانتوس (شکل‌های ۵ و ۶) و اتصال آن به مدل عملکرد ذرت (شکل ۳) می‌تواند طرحی ساده باشد از ساختار رقابت دو گونه‌ی زانتیوم و آمارانتوس با ذرت، ساختاری که چیدمان آن با علف‌کش‌ها تعیین شد. شناخت دقیق عناصر سیستم، رفتار، حساسیت‌ها و واکنش‌های متقابل گونه‌های در حال رقابت، تحت تأثیر علف‌کش‌ها درک روشنی از سیستم را پیش روی مدیریت علف‌های هرز قرار خواهد داد که قطعاً در موفقیت آن مؤثر خواهد بود.



شکل ۱- بای پلات حاصل از CCA نشانگر توزیع تیمارها حول محورهای ۱ و ۲. فاصله‌ی تیمارهایی که در یک دسته با خطوط نقطه چین قرار گرفته‌اند براساس آزمون کای-اسکوئر معنی دار نیست. X و A به ترتیب بیانگر تراکم زانتیوم و آمارانتوس است.

Fig 1. Biplot of the experiment treatments obtained by Canonical Correlation Analysis. X and A denote the density of *X. strumarium* and *A. retroflexus*, respectively.

جدول ۱- ضریب همبستگی کانونیک استاندارد محاسبه شده بین اجزاء ماتریس متغیرهای مستقل و ماتریس متغیرهای وابسته با CCA (ضرایب همبستگی بیش از ۰/۳ معنی دار شناخته شدند).

Table 1. Correlations among matrix components using CCA. (The correlation coefficient values more than 0.3 were considered significant).

Standard canonical correlations among variables (corn vs. corn, *Amaranthus* vs. corn, *Xanthium* vs. corn, *Amaranthus* vs. *Xanthium*) using CCA

	X_{LAI}	X_{RLA}	X_H	X_{BIOM}	$X_{L\ No.}$	$X_{L/M}$	X_{TLA}	A_{LAI}	A_{RLA}
X_{LAI}	1.000								
X_{RLA}	0.764	1.000							
X_H	0.906	0.662	1.000						
X_{BIOM}	0.824	0.819	0.803	1.000					
$X_{L\ No.}$	0.813	0.754	0.951	0.745	1.000				
$X_{L/M}$	-0.103	0.322	-0.736	-0.123	-0.106	1.000			
X_{TLA}	0.216	0.453	0.221	0.710	0.216	0.642	1.000		
A_{LAI}	0.474	0.269	0.386	0.315	0.470	-0.254	0.572	1.000	
A_{RLA}	0.393	0.218	0.205	0.231	0.388	-0.290	0.534	0.947	1.000
A_H	0.396	0.227	0.393	0.145	0.406	-0.213	0.527	0.886	0.867
A_{BIOM}	0.417	0.230	0.276	0.212	0.392	-0.223	0.318	0.853	0.884
$A_{L\ No.}$	0.343	0.208	0.208	0.250	0.377	-0.211	0.476	0.845	0.880
A_{TLA}	0.624	0.422	0.564	0.607	0.314	-0.205	0.623	0.790	0.513
C_H	-0.345	-0.470	-0.647	-0.721	-0.670	0.184	0.655	-0.371	-0.306
C_{BIOM}	-0.651	-0.609	-0.702	-0.844	-0.619	0.065	0.453	-0.637	-0.620
C_{LAI}	-0.685	-0.554	-0.672	-0.768	-0.645	0.045	0.609	0.642	-0.558
$C_{GRAIN\ Y.}$	-0.712	-0.734	-0.739	-0.923	-0.790	0.343	-0.370	-0.655	-0.734

	A_H	A_{BIOM}	$A_{L\ No.}$	A_{TLA}	C_H	C_{BIOM}	C_{LAI}	$C_{GRAIN\ Y.}$
A_H	1.000							
A_{BIOM}	0.892	1.000						
$A_{L\ No.}$	0.956	0.874	1.000					
A_{TLA}	0.870	0.812	0.784	1.000				
C_H	-0.400	-0.617	-0.345	0.430	1.000			
C_{BIOM}	-0.566	-0.632	-0.563	0.335	0.722	1.000		
C_{LAI}	-0.547	-0.609	-0.637	0.316	0.603	0.721	1.000	
$C_{GRAIN\ Y.}$	-0.583	-0.660	-0.586	-0.307	0.688	0.815	0.773	1.000

X_{LAI}: *Xanthium* leaf area index.

X_{RLA}: *Xanthium* relative leaf area.

X_H: *Xanthium* height.

X_{BIOM}: *Xanthium* biomass.

$X_{L\ No.}$: *Xanthium* lateral shoots number.

X_{TLA}: *Xanthium* topmost leaf area.

A_{LAI}: *Amaranthus* leaf area index.

A_{RLA}: *Amaranthus* relative leaf area.

A_H: *Amaranthus* height.

A_{BIOM}: *Amaranthus* biomass.

$A_{L\ No.}$: *Amaranthus* lateral shoots number.

A_{TLA}: *Amaranthus* topmost leaf area

C_H: Corn height.

C_{BIOM}: Corn biomass.

C_{LAI}: Corn leaf area index.

$C_{GRAIN\ Y}$: Corn grain yield.

جدول ۲- مقادیرواریانس توصیف شده توسط سه محور کانونیک اول و نتایج تست مونت کارلو برای آزمون روابط بین متغیرهای وابسته و مستقل

Table 2. Eigenvalues and variances calculated by CCA. Mont Carlo test was used to determine the relationship between independent and response variables.

Summary of CCA results					MONTE CARLO TEST RESULTS	
Axis					Corn-weed species correlation	
	Real data eigenvalue	% variane explained	P-Value	Pooled R_c^2*	Corn-weed	P-Value
1	0.103	79.9	0.010		0.967	0.01
2	0.028	11.2	0.033	0.93	0.921	0.01
3	0.07	1.3	0.790		0.640	0.01

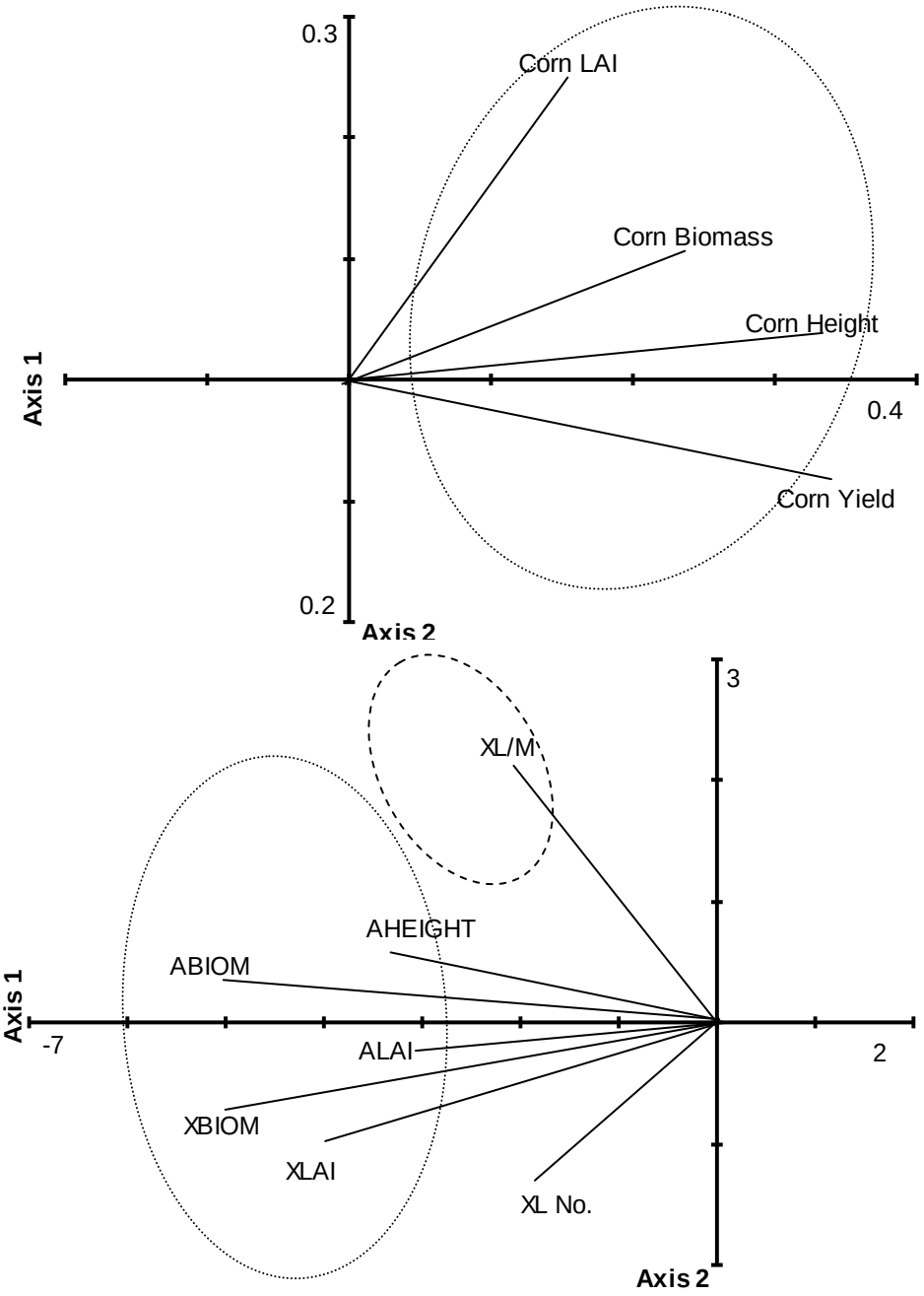
* Pooled R_c^2 بیانگر ارتباط کلی دو مجموعه متغیرهای مستقل و وابسته است.

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین مقادیر ثابت (متغیرهای مستقل) و متغیرهای وابسته‌ی انتخاب شده در تحلیل مسیر عملکرد ذرت.

Table 3. Beta values calculated by path analysis.

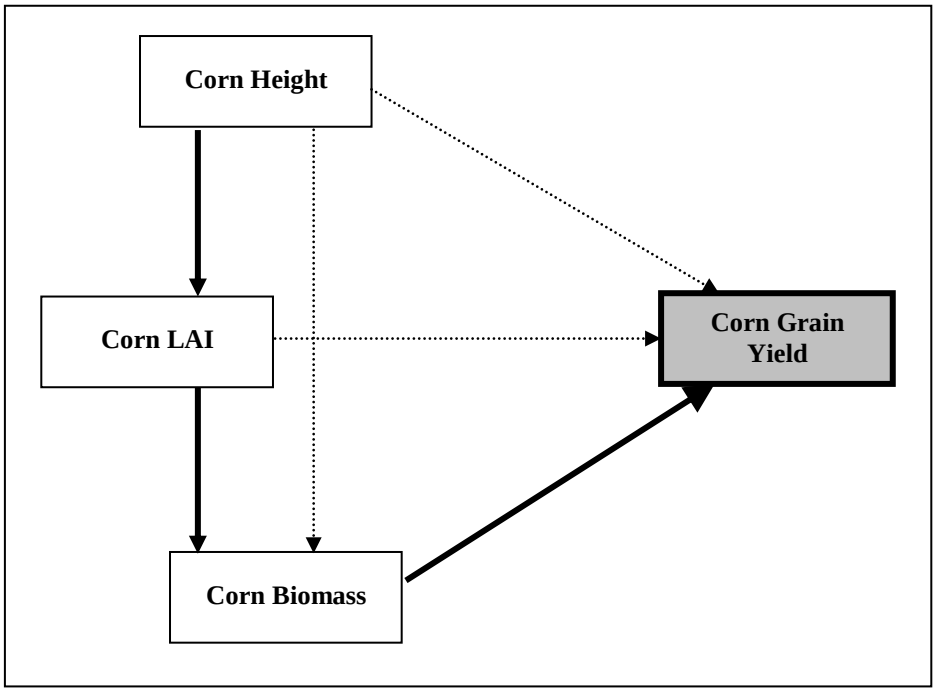
Dependent variables(Constant)	Standardized regression coefficients (Beta)			
	CH	CBIOM	CLAI	R^2_{adj}
CGRAIN Y.	0.175*	0.525*	0.263*	0.972
CBIOM	0.107*	-	0.743*	0.852
CLAI	0.875*	-	-	0.875

CGRAIN Y.; Corn grain yield, CH; Corn height, CBIOM; Corn biomass, CLAI; Corn leaf area index.



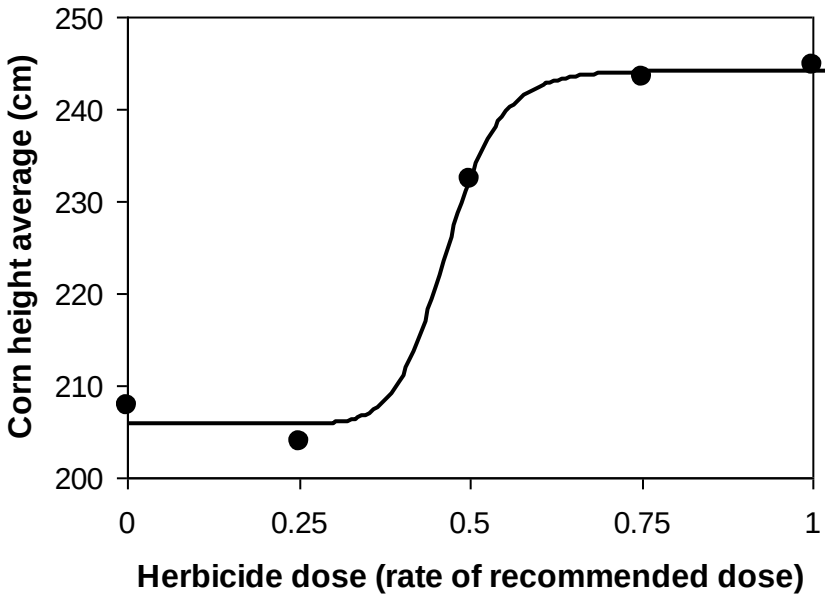
شکل ۲- بای-پلات حاصل از CCA نشان‌گر توزیع شاخص‌های مربوط به ذرت و علف‌های هرز زانتیوم و آمارانتوس. XL/M نسبت طول شاخه‌های فرعی به ساقه اصلی زانتیوم، AHEIGHT ارتفاع آمارانتوس، ABIOM زیست توده آمارانتوس، ALAI شاخص سطح برگ آمارانتوس، XBIOM زیست توده زانتیوم، XLAI شاخص سطح برگ زانتیوم .XL No تعداد جوانه‌های فرعی روی ساقه اصلی زانتیوم.

Fig 2. Biplot displays for the distribution of maize and weeds indices.
XL/M: lateral shoot/Main stem height, AHEIGHT and ABIOM represent *A. retroflexus* height and biomass, respectively. XBIOM and XLAI are *X. strumarium* biomass and LAI, respectively. XL No. represents the lateral buds on the main stem.



شکل ۳- نمودار تحلیل مسیر عملکرد ذرت. شاخص‌های آورده شده در نمودار، دارای ضریب بتای معنی‌دار بود. فلش‌های با خطوط مشکی پررنگ نشان‌گر اثرات مستقیم و فلش‌های نقطه چین نشان‌گر اثرات غیرمستقیم شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در ذرت است.

Fig 3. Structural model for maize yield produced using path analysis.
Bold lines indicate the direct effects.



شکل ۴- روند تغییرات میانگین ارتفاع ذرت با افزایش غلظت علف کش، ● نشان‌گر میانگین ارتفاع ذرت در هر غلظت است. منحنی لجیستیک ۴ پارامتری به نقاط برازش داده شده است (RMSE=0.013, R2=0.994).

Fig 4. Relationship between maize height and herbicide dose described by 4-parameters logistic function.

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین مقادیر ثابت (متغیرهای مستقل) و متغیرهای وابسته‌ی انتخاب شده در تحلیل مسیر شاخص‌های زانتیوم.

Table 4. Beta values for X. strumarium indices calculated by path analysis.

Dependent variables (Constant)	Standardized regression coefficients (Beta)								
	Dose	XL/M	XD	XH	XLSN	XLAI	XRLA	AD	R^2_{adj}
XBIOM	-0.090*	0.004	0.084*	0.105*	0.086*	0.227*	0.312*	0.071*	0.987
XRLA	-0.104*	-	0.073*	0.117*	0.092*	0.506*	-	0.095*	0.991
XLAI	-0.180*	-	0.254*	0.125*	0.416*	-	-	0.007	0.988
XLSN	-0.322*		0.097*	0.543*	-	-	-	-	0.973
XH	0.840*-		0.107*						0.958

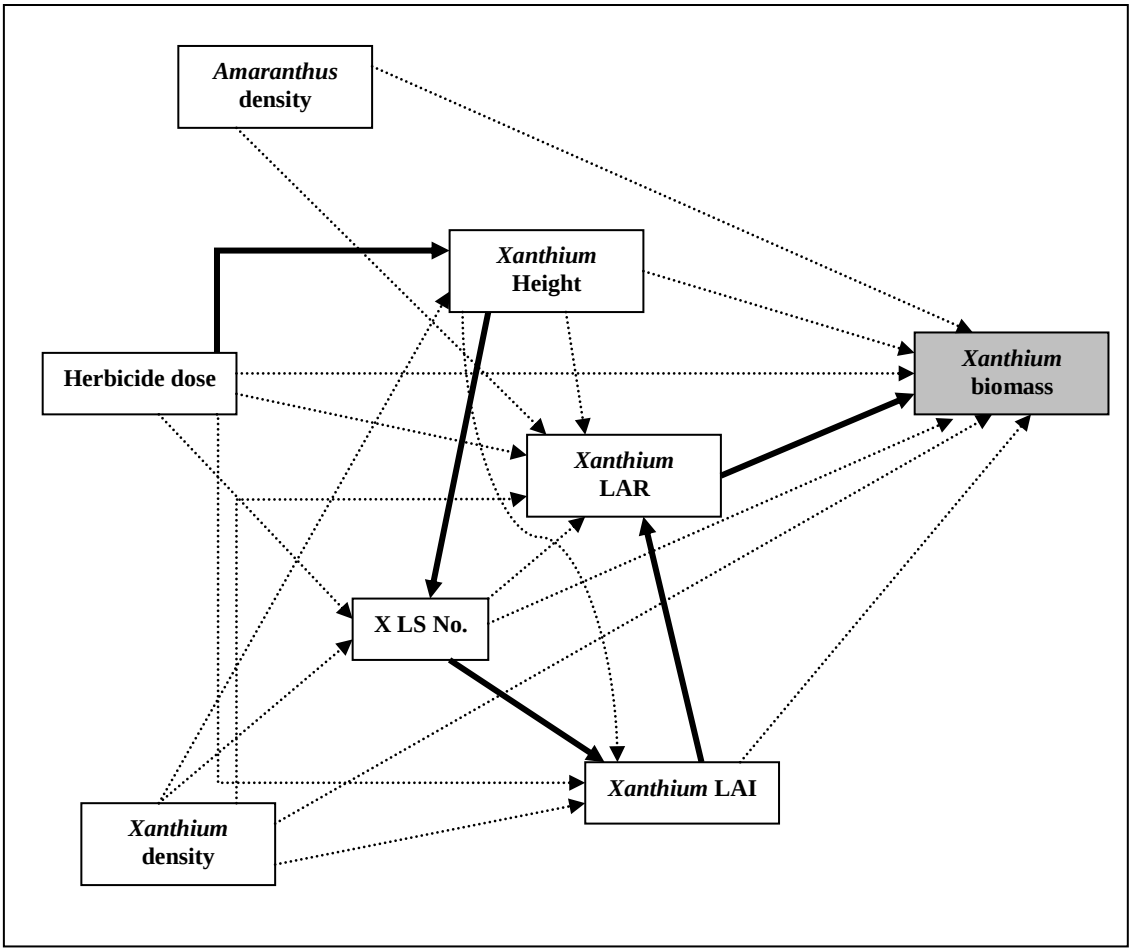
Dose: Herbicide dose, XL/M: The ratio of lateral shoots height to main stem height for *Xanthium*, XD: *Xanthium* density, XH: *Xanthium* height, XLSN: *Xanthium* lateral shoots No., XLAI: *Xanthium* leaf area index, XRLA: *Xanthium* relative leaf area, AD: *Amaranthus* density.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین مقادیر ثابت (متغیرهای مستقل) و متغیرهای وابسته‌ی انتخاب شده در تحلیل مسیر شاخص‌های آمارانتوس.

Table 5. Beta values for A. retroflexus indices calculated by path analysis

Dependent variables (Constant)	Standardized regression coefficients (Beta)					
	Dose	ABIOM	AD	XD	ALAI	R^2_{adj}
ARLA	-0.090*	0.235*	0.184*	0.085*	0.356*	0.964
ALAI	-0.207*	0.350*	0.243*	0.093*	-	0.902
ABIOM	-0.675*	-	0.254*	0.014	-	0.950

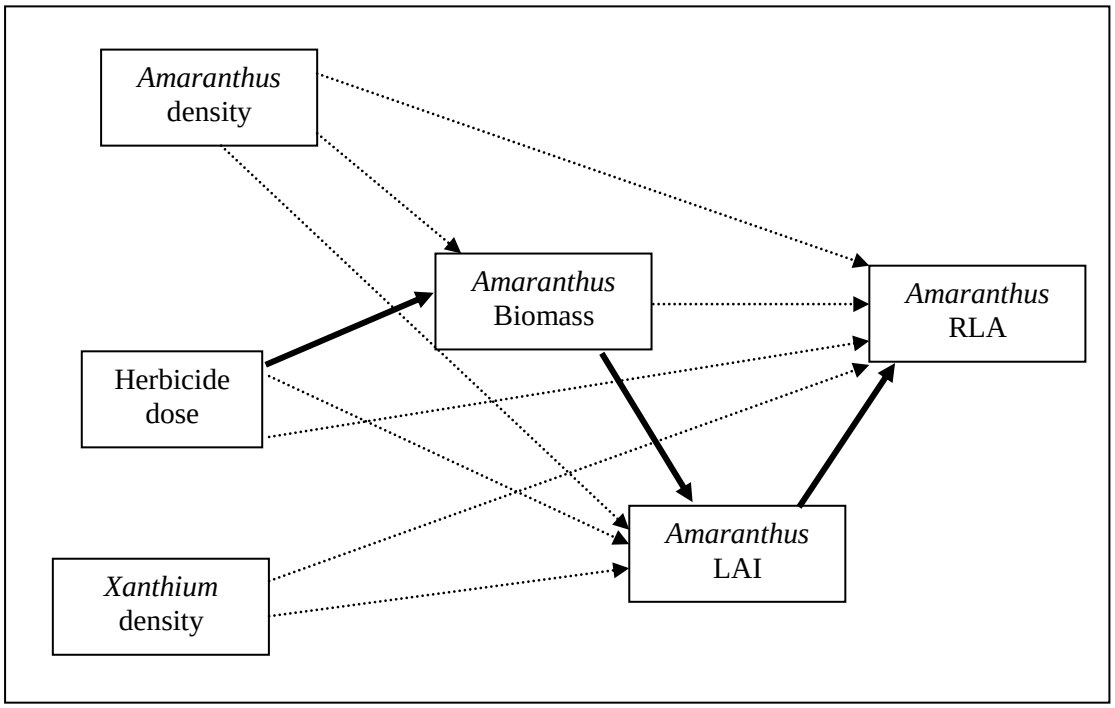
Dose: Herbicide dose, ABIOM: *Amaranthus* biomass, AD: *Amaranthus* density, XD: *Xanthium* density, ALAI: *Amaranthus* leaf area index, ARLA: *Amaranthus* relative leaf area.



شکل ۵- نمودار تحلیل مسیر شاخص‌های زانتیوم. شاخص‌های آورده شده در نمودار دارای ضریب بتای معنی‌دار بود. فلش‌های با خطوط مشکی پررنگ نشانگر اثرات مستقیم و فلش‌های نقطه‌چین نشانگر اثرات غیرمستقیم شاخص‌های اندازه‌گیری شده در ذرت است.

Fig 5. Structural model for the X. strumarium indices produced using path analysis. Bold lines indicate the direct effects.

Dose: Herbicide dose, XL/M: The ratio of lateral shoots height to main stem height for *Xanthium*, XD: *Xanthium* density, XH: *Xanthium* height, XLSN: *Xanthium* lateral shoots No., XLAI: *Xanthium* leaf area index, XRLA: *Xanthium* relative leaf area, AD: *Amaranthus* density.



شکل ۶- نمودار تحلیل مسیر شاخص‌های آمارانتوس. شاخص‌های آورده شده در نمودار دارای ضریب بتای معنی‌دار بود. فلش‌های با خطوط مشکی پررنگ نشانگر اثرات مستقیم و فلش‌های نقطه‌چین، نشانگر اثرات غیرمستقیم شاخص‌های اندازه‌گیری شده در ذرت است.

Fig 6. Structural model for the *A. retroflexus* indices produced using path analysis. Bold lines indicate the direct effects.
LAI: *Amaranthus* leaf area index, RLA: *Amaranthus* relative leaf are

Reference فهرست منابع

Brain. P., Marshall. EJP., 1999. The horizontal movement of seeds in arable soil by different soil cultivation methods. Journal of Applied Ecology. 36. 443-454

Cavero, J., C. Zaragoza., M. L. Suso., A. Pardo., 1999. Competition between maize and *Datura stramonium* in an irrigated field Ander semi-arid conditions. Weed Res. 39: 225-240.

Cousens, R. 1985. A simple model relating yield loss to weed density. Ann. Appl. Biol. 107: 239–252.

Federer, T. W. 2005. Augmented split block experiment design. Agron. J. 97: 578-586.

Kim, D. S., E.J.P. Marshall, J. C. Caseley, and P. Brain., 2006. Modelling interactions between herbicide dose and multiple weed species interference in crop–weed competition. Weed Res. 46: 175-184.

Loomis, R. S., W. A. Williams, W. G. Duncan, F. Nunez. 1968. Quantitative descriptions of foliage display and light absorption in field communities of corn plants. Crop Sci. 8: 352-356.

Mirzaii, R., M. Rostami, M. Oveisi, M. Bannayan, and M. A. Baghestani. 2005. Economic threshold and yield losses of grain corn (*Zea mays* L.) in competition with redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.). Appl. Ent.m.Plant Phytopath. 73: 121-129. (In Persian).

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.

Oveisi, M., Rahimian, H., Baghestani, M. A., Alizade, H., 2008. Modelling interactions between multiple weed competition and herbicide dose in corn. J. Iranian Weed Sci. 4,47-63

Pike, D. R., E. W. Stoller, L. M Wax, 1990. Modelling soybean growth and canopy apportionment in weed-soybean (*Glycine max*) competition. Weed Sci. 38: 522-527.

Regnier, E. E., M. E. Salvucci., E. W.Stoller, 1988. Photosynthesis and growth responses to irradiance in soybean (*Glycine max*) and three broadleaf weeds. Weed Sci. 36: 487-496.

Regnier, E. E., E. W. Stoller, 1989. The effects of soybean (*Glycine max*) interference on the canopy architecture of common cocklebur (*Xanthium strumarium*), jimsonweed (*Datura stramonium*), and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). Weed Sci. 37:187-195.

Salonen, J., 1993. Reducing herbicide use in spring cereal production. Agric.Finland 2 (Suppl. 2) 42 p.

Stoller, E. W., J. T. Woolley., 1985. Competition for light by broadleaf weeds in soybeans (*Glycine max*).Weed Sci.33: 199-202.

Steinberg, J. C. 1980. Models for curve fitting herbicide dose response data. Acta Agric. Scandinavia, 30: 59–64.

Ter Braak, C. J. F., 1988. A Fortran program CANOCO: for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correlation analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 2.1), Microcomputer Power, USA.

Tetio-Kagho, F., F. P. Gardner, 1988. Responses of maize to plant population density. I. Canopy development, light relationships, and vegetative growth. Agron. J. 80: 930-935.

Wilson, B. J., Wright, K. J. P., Brain, M. Clements,. and E. Stephens, 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.