آفات و بیماری‌های گیاهی
جلد ۷۵، شماره ۱، شهریور ۱۳۸۶

ارزیابی رقابت سلمه‌تره (*Chenopodium album*) و ذرت (*Zea mays*) با استفاده از برخی مدل‌های تجربی

Evaluation of different empirical models of crop/weed competition to estimate yield and LAI losses from common lambsquarters (*Chenopodium album*) in corn (*Zea mays*)

فاطمه آقابیگی[1]*، اسکندر زند[2] و محمدعلی باغستانی میبدی[2]

۱- مرکز تحقیقات کشاورزی ورامین

۲- مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، تهران

(تاریخ دریافت: آذر ۱۳۸۴، تاریخ پذیرش: آذر ۱۳۸۵)

چکیده

به منظور بررسی تأثیر رقابت سلمه‌تره (*Chenopodium album*) بر عملکرد ذرت دانه‌ای، آزمایشی در سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ در کرج انجام گرفت. آزمایش‌ها در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار و با آرایش فاکتوریل اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل زمان نسبی سبز شدن سلمه‌تره (سال اول: همزمان با ذرت، در مرحله ۳-۲ برگی ذرت و در مرحله ۵-٤ برگی ذرت؛ سال دوم: همزمان با ذرت، در مرحله ۳-۲ برگی ذرت و در مرحله ٦-۵ برگی ذرت) و تراکم سلمه‌تره (سال اول: ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع؛ سال دوم: ٦/٦، ۱۳/۳ و ۲۰ بوته در مترمربع) بود. نتایج حاصل از آزمایش نشان داد که بیشترین کاهش عملکرد مربوط به تیماری است که سلمه‌تره همزمان با ذرت سبز شد و کاهش عملکردی معادل ۸۵ و ۹۲ درصد را به ترتیب در سال اول و دوم آزمایش باعث گردید. همچنین تأخیر در زمان نسبی سبز شدن سلمه‌تره سبب کاهش قدرت رقابتی آن در مقابل ذرت گردید. شاخص سطح برگ ذرت نیز در ارتباط مستقیم با تراکم و زمان نسبی سبز شدن سلمه‌تره بود،

* Corresponding author: maghabeygi@yahoo.com

بطوری که سبز شدن همزمان سلمه‌تره با ذرت سبب کاهش شاخص سطح برگ ذرت در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب به میزان ۷۳ و ۵۳ درصد شد. بطور کلی مقایسه مدل‌های مختلف نشان داد که مدل‌های تراکم- زمان نسبی سبز شدن و سطح برگ نسبی علف‌هرز (در حالت کلی و مجموع سه زمان سبز شدن) با حداکثر ضریب تبیین، دارای بیشترین کارایی در پیش‌گویی کاهش عملکرد ذرت می‌باشند. علاوه بر آن نتایج نشان داد که تأثیر زمان نسبی سبز شدن سلمه‌تره بر افت عملکرد ذرت، بیشتر از تراکم می‌باشد، بطوری که مدل تراکم-کاهش عملکرد در حالت تفکیک زمان‌های نسبی سبز شدن، از توانایی خوبی در پیش‌گویی افت عملکرد برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: ذرت، سلمه‌تره، رقابت، مدل‌های تجربی

مقدمه

ذرت دانه‌ای (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین محصولات زراعی ایران است که در برنامه‌های توسعه کشاورزی توجه زیادی به آن می‌شود. بر اساس آمار منتشر شده سطح زیر کشت این محصول در سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹ حدود ۱۷۲ هزار هکتار و تولید آن بیش از یک میلیون تن بوده است (Anonymous, 2002). یکی از عوامل اصلی کاهش دهنده عملکرد این گیاه در مناطق مختلف کشور علف‌های هرز می‌باشند. در صورتی که در مزارع ذرت این عوامل ناخواسته مدیریت نگردند، میزان خسارت آن‌ها تا ۸۶ درصد می‌رسد (Moussavi, 2001). بر اساس گزارشات دریافت شده از دیگر نقاط جهان، میزان خسارت علف‌های هرز در ذرت تحت شرایط مختلف مدیریتی و آب و هوایی، متفاوت است. به عنوان مثال در ترکیه، هنگامی که ذرت به عنوان کشت دوم پس از گندم کشت می‌گردد، خسارت علف‌های هرز آن بین ۳۸ تا ۵۹ درصد برآورد شده است (Uremis *et al*., 2004). در سایر مطالعات نیز کاهش عملکرد ذرت در رقابت با علف‌های هرز بیش از ۳۰ درصد (Rahman, 1985) و در برخی موارد تا ۹۰ درصد (Mikelson & Harvey, 1992) گزارش شده است.

در بین علف‌های هرز مزارع ذرت، سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) در گروه مهم‌ترین علف‌های هرز این محصول قرار دارد (Calkon, 2001). بر اساس گزارش‌های منتشره این

علف‌هرز به بیش از ۴۰ گیاه زراعی جهان خسارت وارد می‌سازد. در بین گیاهان زراعی مهم، بالاترین میزان خسارت در محصولاتی نظیر ذرت، چغندرقند، سویا و سیب‌زمینی گزارش شده است (Crook & Renner, 1990). بررسی‌ها نشان داده است که میزان خسارت سلمه‌تره در محصولات مختلف، متفاوت است (Bielinski *et al*., 2004). بطوری که میزان خسارت این علف‌هرز در مزارع ذرت ۱۱ درصد (Backet *et al*., 1988)، مزارع جو ۳۶ درصد (Conn & Thomas, 1987) و مزارع چغندرقند ۴۸ درصد (Schweizer, 1983) برآورد شده است. این در حالی است که در بررسی دیگر میزان کاهش عملکرد ذرت در اثر فشار رقابتی سلمه‌تره ۲۲/۳ گزارش شده است (Turner *et al*., 1996). این موضوع به زمان سبز شدن و تراکم سلمه‌تره در آزمایشات مختلف باز می‌گردد. مطالعه در خصوص تأثیر تراکم سلمه‌تره بر کاهش عملکرد ذرت نشان داد که وجود ۲ بوته در هر ۳۰ سانتی‌متر ردیف ذرت، ۱۱ درصد کاهش عملکرد این محصول را بدنبال داشته است (Becket *et al*., 1988). بررسی دیگر در خصوص تأثیر تراکم و زمان نسبی سبز شدن *Ambrosia trifida* بر افت عملکرد ذرت نشان داد در صورتی که علف‌هرز مزبور همزمان با ذرت سبز شود و تراکم‌های آن ۱/۷، ٦/۹ و ۱۳/۸ بوته در مترمربع باشد، میزان افت عملکرد ذرت به ترتیب به ۱۸، ٤٦ و ٦۱ درصد می‌رسد. در صورتی که زمان سبز شدن سلمه‌تره تا مرحله شش برگی ذرت به تأخیر افتد این افت به ترتیب به مقادیر ۲، ۸ و ۱۵درصد تقلیل می‌یابد (Harrison *et al*., 2001). بررسی افت عملکرد محصول در حضور سلمه‌تره در محصولات دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در سویا نشان داده شد که تداخل سلمه‌تره با تراکم ۳/۲ بوته در هر متر طول ردیف، به مدت ۱۰ هفته، عملکرد این محصول را به میزان ۲۰ درصد کاهش داد (Crook & Renner, 1999).

تاکنون مدل‌های تجربی مختلفی برای بیان رابطه بین افت عملکرد محصول در حضور علف‌های هرز پیشنهاد شده است (Yenish *et al*., 1992; Ngouajio *et al*., 1999). این مدل‌ها از تراکم علف‌هرز و محصول زراعی، تراکم علف‌هرز و زمان نسبی سبز شدن علف‌هرز نسبت به گیاه زراعی و سطح برگ نسبی علف‌های هرز به عنوان عامل پیشگویی در افت عملکرد محصول بهره می‌گیرند (Ngouajio *et al*., 1999). Cousens (1985) با ارزیابی تعداد زیادی از مدل‌های رایج در ارتباط با پیشگویی کاهش عملکرد محصولات زراعی در رقابت با علف‌های

هرز، توابع غیرخطی خصوصاً تابع هذلولی راست گوشه را بهترین مدل برای برآورد کاهش عملکرد معرفی کرد. وی در مدل دو پارامتری خود کاهش عملکرد گیاه زراعی را تابعی از تراکم علف‌هرز دانست (Cousens, 1985) (معادله۱).

معادله ۱:
$$YL = \frac{Id}{\left(1+\frac{Id}{A}\right)}$$

این معادله هذلولی دارای دو متغیر I یا شیب منحنی (میزان کاهش عملکرد گیاه زراعی به ازای افزودن اولین بوته علف هرز) و A به معنی مجانب منحنی (حداکثر کاهش عملکرد وقتی تراکم علف‌هرز به سمت بی‌نهایت میل می‌کند) بوده که دارای مفاهیم زراعی ساده‌ای است و می‌توانند به عنوان معیاری از توان رقابت مورد استفاده قرار گیرند. I و A تحت تأثیر عواملی نظیر تراکم گیاه زراعی، زمان نسبی سبز شدن علف‌هرز و گیاه زراعی و نوع خاک تغییر می‌یابند. این دو متغیر به عنوان شاخص‌های رقابت در تراکم‌های کم و زیاد علف‌هرز هستند. همچنین YL و d به ترتیب درصد کاهش عملکرد و تراکم علف‌هرز (بوته در مترمربع) می‌باشند (Aldrich, 1987). توسعه این مدل بر مبنای چهار فرضیه می‌باشد که:

۱- در غیاب علف‌هرز هیچگونه کاهش عملکردی صورت نمی‌گیرد.

۲- اثرات منفی تراکم‌های پایین علف‌هرز بر عملکرد گیاه زراعی بیشتر از تراکم‌های بالای آن می‌باشد.

۳- کاهش عملکرد از ۱۰۰ درصد تجاوز نمی‌کند.

٤- عکس‌العمل عملکرد گیاه زراعی به تراکم علف‌هرز در تراکم‌های بالا به صورت یک منحنی غیرخطی است (Cousens, 1985; Park *et al*., 2003).

این مدل به دلیل داشتن مجانب در سطوح بالای تراکم علف‌هرز، مطابق با اصول بیولوژیکی عمل می‌کند (Lotz *et al*., 1995; Swanton & Lyford, 1996). این مدل با وجود استفاده گسترده، در برخی موارد با انتقاداتی نیز مواجه بوده است که عدم تشریح فرایندهای مؤثر در نتایج رقابت، یکی از مهم‌ترین آن‌ها می‌باشد (Park *et al*., 2003). همچنین متغیرهای این مدل بدلیل تأثیر سایر عوامل در آزمایش‌های مختلف تغییر می‌نماید. مهم‌ترین عاملی که

باعث این تغییر می‌شود زمان سبز شدن علف‌های هرز است که بر اندازه آن‌ها مؤثر می‌باشد (Cousens, 1987) و به همین دلیل دقت زیادی ندارند.

با توجه به اهمیت زمان نسبی سبز شدن علف هرز و عدم استفاده از آن در معادله ۱، Cousens, (1987) پیش‌بینی دقیق‌تری از افت عملکرد بر اساس تراکم علف‌هرز و همچنین فاصله زمانی بین سبز شدن گیاه زراعی و علف‌هرز را بر اساس معادله ۲ ارائه نمود.

معادله ۲:
$$YL = \frac{x \times N_w}{\exp(y \times T_{cw}) + (x/z) N_w}$$

در معادله ۲، YL افت نسبی عملکرد، N_w تراکم علف‌هرز، T_{cw} فاصله زمانی بین ظهور گیاه زراعی و علف‌هرز و x, y, z ضرایب رگرسیون غیرخطی می‌باشد. این مدل انطباق زیادی با داده‌های حاصل از تراکم و تاریخ‌های مختلف سبز شدن علف‌هرز دارد. از معایب آن نیز می‌توان به مشخص ننمودن اثر علف‌های هرزی که زود سبز می‌کنند اشاره نمود. علاوه بر آن جهت برازش این مدل احتیاج به داده‌های زیادی می‌باشد. زیرا اثر تراکم علف‌هرز بایستی در طیف وسیعی از زمان سبز شدن مورد بررسی قرار گیرد. از دیگر مشکلات این مدل می‌توان به علف‌های هرزی که معمولاً در طول فصل سبز می‌شوند اشاره نمود. با توجه به مشکلات این مدل، مدل‌های تجربی دیگر توسط دیگر محققان ارائه شده است.

مدل دیگری که جهت محاسبه افت عملکرد امروزه بطور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد، مدل ارائه شده توسط Kropff & Spitters (1992) می‌باشد. این مدل بر اساس مدل هذلولی افت عملکرد- تراکم علف‌هرز و با استفاده از روابط ریاضی بدست می‌آید. در این مدل افت عملکرد به سطح برگ نسبی علف‌هرز (LW) نسبت داده می‌شود.

معادله ۳:
$$YL = \frac{qLw}{1 + (q-1)Lw}$$

در معادله۳، q ضریب خسارت نسبی علف‌هرز و L_W سطح برگ نسبی علف‌هرز می‌باشد که برای محاسبه آن می‌توان از معادله ٤ استفاده کرد.

معادله ٤:
$$Lw = \frac{LAI_w}{LAI_w + LAI_c}$$

در معادله ٤ LAI_w و LAI_c به ترتیب بیان کننده شاخص سطح برگ علف‌هرز و گیاه زراعی می‌باشد. با توجه به معادله ٤ افت عملکرد بر اساس معادله ۳ محاسبه می‌گردد.

شکل دیگری از این مدل که از فرمول‌های تجربی مشتق شده است، بوسیله Cousens (1985) معرفی گردیده است. این مدل شامل یک پارامتر اضافی (m) جهت محاسبه حداکثر کاهش عملکرد توسط علف‌های هرز (معادله ۵) می‌باشد و بر اساس معادله ۳ محاسبه می‌شود.

معادله ۵:
$$YL = \frac{qLw}{1 + (\frac{q}{m} - 1)Lw}$$

هدف از انجام این تحقیق ارزیابی و سنجش اعتبار و مقایسه کارائی مدل‌های تجربی افت عملکرد جهت پیشگوئی عملکرد ذرت در تراکم‌های مختلف و زمان‌های نسبی سبز شدن سلمه‌تره است.

روش بررسی

به منظور بررسی اثرات رقابت علف‌هرز سلمه‌تره بر افت عملکرد ذرت دانه‌ای، آزمایشی طی سال‌های ۱۳۸۰ و ۱۳۸۱ در مزرعه تحقیقاتی بخش تحقیقات علف‌های هرز مؤسسه تحقیقات آفات و بیماری‌های گیاهی، واقع در کرج با ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا و عرض جغرافیایی ٤٨ً ۳۵ شمالی و طول جغرافیایی ۱۰ً ۵۱ شرقی انجام گرفت. میانگین بارندگی سالیانه این منطقه ۲٤۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است که از نظر اقلیمی‌در زمره مناطق نیمه خشک و سرد قرار می‌گیرد. بر اساس آمار هواشناسی منطقه میانگین دمای ۳۰ ساله، دمای حداکثر مطلق، و حداقل مطلق آن به ترتیب ۱۳/۷، ٤۱ و ۲۱/۷- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بافت خاک زمین آزمایش شنی رسی بود.

در هر دو سال، آزمایش بصورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل زمان نسبی سبز شدن سلمه‌تره در سال اول: همزمان با ذرت (V_E)، در مرحله ۳-۲ برگی ذرت (V_{2-3}) و در مرحله ۵-٤ برگی ذرت (V_{4-5}) و در سال دوم: همزمان با ذرت (V_E)، در مرحله ۳-۲ برگی ذرت (V_{2-3}) و ٦-۵ برگی ذرت (V_{5-6}) و تراکم سلمه‌تره در سال اول: ۲، ۵، ۱۰ و ۱۵ بوته در مترمربع و در سال دوم: ٦/٦، ۱۳/۳ و ۲۰ بوته در مترمربع بود. از تیمار کاشت ذرت خالص نیز جهت تعیین عملکرد ذرت در شرایط بدون رقابت استفاده گردید.

قبل از شخم، از خاک مزرعه نمونه‌برداری شد و مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفت. بر اساس نتیجه آزمایش خاک، کود مصرفی معادل ۱۱٤ و ۱۳۷ کیلوگرم نیتروژن خالص، ۱۱۲/۵ و ۱۱۰ کیلوگرم فسفر در هکتار به ترتیب سال اول و دوم آزمایش بکار برده شد. مزرعه آزمایشی در پاییز هر سال شخم نیمه عمیق زده شد. در بهار پس از دو بار دیسک در زمین شیارهایی به فاصله ۷۵ سانتی‌متر ایجاد گردید. علاوه بر آن ۹۰ کیلوگرم کود اوره بصورت سرک در مراحل ۸-۷ برگی ذرت به زمین اضافه شد.

رقم ذرت مورد استفاده سینگل‌کراس ۷۰٤ بود که به صورت خشکه‌کاری با فواصل ۲۰ سانتی‌متر روی ردیف (در سال اول در تاریخ ۲۰ اردیبهشت و در سال دوم ۳ خرداد ماه) کشت گردید. بذرهای سلمه‌تره نیز در سال قبل از مزارع ذرت کرج جمع‌آوری گردید. جهت شکستن خواب، بذرها به مدت ۳ ماه در دمای ۲- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

بذرهای سلمه‌تره پس از مخلوط کردن با مقداری ماسه بادی در طرفین خطوط کاشت ذرت و با تراکم بالا کشت گردیدند تا پس از اطمینان از درصد سبز مطلوب، بر اساس تراکم مورد نظر تنک شوند. اولین زمان کاشت همزمان با ذرت و دو زمان کشت بعدی به ترتیب ٤ و ۱۸ خرداد ماه در سال ۱۳۸۰ و ۱۷ و ۲۷ خرداد ماه در سال ۱۳۸۱ بود.

در مرحله ۳-۲ برگی ذرت، بوته‌ها، تا حد یک عدد در هر کپه (٦/٦ بوته در مترمربع) تنک شدند. بوته‌های اضافی سلمه‌تره نیز بر اساس تراکم پیش‌بینی شده برای هر کرت، در مرحله ۲ تا ۳ برگی، با دست تنک شدند. لازم به ذکر است که در تمام طول فصل سایر علف‌های هرز در مزرعه کنترل شدند و حداکثر هر دو هفته یکبار عملیات وجین دستی انجام

گرفت. آبیاری مزرعه نیز از زمان کاشت تا پایان شهریور ماه بصورت هفتگی انجام شد.

نمونه‌برداری تخریبی ذرت در طی فصل رشد، از دو ردیف میانی هر کرت (سال اول: ۳۰، ٤٥، ٦٠، ٧٥ و ٩٠ و در سال دوم: ٣٤، ٥٤، ٦٨، ٨٢، ٩٦ و ١١٠ روز پس از سبز شدن ذرت) انجام شد. برای این منظور ۵ متر از طول دو ردیف میانی هر کرت (با احتساب نیم متر اثر حاشیه‌ای) به این امر اختصاص یافت. در هر بار نمونه‌برداری تنها ۲ بوته برداشت گردید و پس از اندازه‌گیری ارتفاع گیاه، اجزای گیاه به برگ و ساقه تفکیک شدند. سطح برگ هر نمونه با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ[1] تعیین شد.

پس از رسیدن رطوبت دانه ذرت به ۱۴ درصد، برداشت محصول از سطحی معادل ۳ مترمربع (۱/۵ متر طولی از دو ردیف میانی هر کرت) انجام شد. پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه میزان عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک آن‌ها محاسبه شد. سپس با استفاده از مدل‌های مختلف تجربی (معادلات ۱ تا ۵) تغییرات افت عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک با استفاده از نرم‌افزار Sigma Plot برازش داده شد. نمودارها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel رسم گردیدند.

نتیجه و بحث

مدل مبتنی بر تراکم علف‌هرز: در این بررسی ابتدا داده‌های بدست آمده (شامل هر سه زمان سبز شدن سلمه تره در دو سال آزمایش) با مدل هذلولی مستطیلی تراکم علف‌هرز (معادله ۱) برازش داده شد و مقادیر متغیرهای A و I محاسبه گردید. نتایج این بررسی نشان داد که مقدار عددی متغیر I که بیان کننده میزان کاهش عملکرد ذرت به ازاء افزودن اولین بوته سلمه‌تره می‌باشد در تیمار سبز شدن همزمان سلمه‌تره با ذرت به ترتیب ٣٨/٢٤ و ٢٥/٦ در سال اول و دوم آزمایش بود و با به تأخیر افتادن زمان سبز شدن سلمه‌تره در سال اول آزمایش تا مرحله ۴ تا ۵ برگی و سال دوم تا مرحله ۵ تا ۶ برگی ذرت مقدار عددی این پارامتر به ترتیب تا ۲/۲۵ و ٣/٤٤ تقلیل یافت (شکل ۱). حداکثر افت عملکرد دانه ذرت در واحد سطح (پارامتر A) نیز

۱– LI-COR LI-3000. LI-COR Inc., Lincoln, NE.

با به تأخیر افتادن زمان نسبی سبز شدن سلمه‌تره تقلیل یافت (شکل ۱)، بطوریکه مقدار عددی این پارامتر در تیمار سبز شدن همزمان سلمه‌تره و ذرت در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب ۸۵/۱۳ و ۹۲/۳۸ بود و با به تأخیر افتادن زمان سبز شدن سلمه‌تره تا مرحله ۴ تا ۵ برگی (سال اول) و ۵ تا ۶ برگی (سال دوم) مقدار حداکثر افت عملکرد ذرت به ترتیب به ۱/۵ و ۳/٤٤ رسید (شکل ۱).

برخی از محققین معتقدند که تنها ۵ درصد کاهش عملکرد در ذرت در حضور علف‌هرز قابل چشم پوشی بوده و آن را به عنوان آستانه خسارت نام برده‌اند (Knezevic *et al*., 1994; Hall *et al*., 1992). با توجه به نتایج این بررسی در صورتی که سلمه‌تره همزمان با ذرت رویش نماید، تراکم ۰/۲ بوته در مترمربع آستانه خسارت این علف‌هرز در ذرت می‌باشد (در سال ۱۳۸۱). تأخیر در زمان سبز شدن سلمه‌تره تا مرحله ۲ تا ۳ برگی ذرت، مقدار عددی این آستانه را به ۰/۳ بوته در مترمربع و تا مرحله ۴ تا ۵ برگی (سال اول) و ۵ تا ۶ برگی (سال دوم) به ۱/۳ بوته در مترمربع افزایش داد. منابع مختلف، آستانه خسارت علف‌های هرز در مزارع ذرت را تابع تراکم و گونه‌های مختلف علف‌هرز و همچنین زمان نسبی سبز شدن آن‌ها گزارش نموده‌اند. بطوری که Bosnic & Swanton (1997) ۰/۲۳ بوته در مترمربع از علف‌هرز سوروف، Wilson & Westra (1991) ۲/۲ بوته در مترمربع ارزن وحشی، Knezevic *et al*. (1994) ۱۲/۵ بوته در مترمربع تاج‌خروس، Massinga *et al*. (2001) و Harrison *et al*. (2001) ۰/٤ بوته در ۱۰ مترمربع در همزمان سبز شدن علف‌هرز و ٤/۲ بوته در سبز شدن در مرحله ۵ برگی را به عنوان آستانه خسارت در ذرت عنوان کردند. در سال اول آزمایش رابطه بین تراکم و کاهش عملکرد در تیمار سبز شدن سلمه‌تره در مراحل ۴ تا ۵ برگی (سال اول) و ۵ تا ۶ برگی (سال دوم) به صورت خطی میل نمود (شکل ۱). Cousens (1985) علت این اتفاق را به عدم وجود رقابت درون گونه‌ای علف‌هرز مربوط دانسته است.

شاخص سطح برگ ذرت (LAI)[1]: در این بررسی تغییرات شاخص سطح برگ ذرت در زمان کاکلدهی با توجه به تراکم علف‌هرز سلمه‌تره بر اساس معادله ۱ برازش داده شد (Massinga *et al*., 2001).

1- Leaf area index

محل قرارگیری شکل ۱

محل قرارگیری شکل ۲

نتایج نشان داد که در هر دو سال آزمایش درصد افت شاخص سطح برگ ذرت با افزایش تراکم سلمه‌تره، افزایش یافته است و این افزایش برای تیمار سبز شدن همزمان ذرت با علف‌هرز سلمه‌تره در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب ۷۳ و ۵۳ درصد می‌باشد و بیشتر از سایر زمان‌های مورد بررسی بود (شکل ۲). در مقابل کمترین افت شاخص سطح برگ ذرت در تیمار سبز شدن سلمه‌تره در مرحله ۲ تا ۳ برگی ذرت بوده و مقدار عددی آن در سال اول و دوم آزمایش به ترتیب ۳۷ و ۳۱ درصد می‌باشد. Knezevic *et al.* (1994) نیز با استفاده از معادله ۱ افت شاخص سطح برگ ذرت در مرحله کاکلدهی را برازش داده و گزارش کردند که سبز شدن همزمان ذرت با علف‌های‌هرز، شاخص سطح برگ ذرت را تا ۳٦ درصد کاهش می‌دهد. علاوه بر آن نامبردگان معتقدند که در این حالت افت شاخص سطح برگ ذرت بخوبی می‌تواند فشار رقابتی حاصل از علف‌های‌هرز بر ذرت را نشان دهد. بررسی‌های دیگر نیز نشان داده است که در شرایط رقابت ذرت با علف‌های‌هرز، شاخص سطح برگ ذرت اولین عاملی است که تحت تأثیر رقابت قرار می‌گیرد (Bosnic & Swanton, 1997; Hall *et al.*, 1992; Knezevic *et al.*, 1994; Tollenaar *et al.*, 1994).

مقایسه نتایج حاصل از کاهش شاخص سطح برگ و کاهش عملکرد (شکل‌های ۱ و ۲) بیانگر ارتباط تنگاتنگ این دو صفت می‌باشد. بطوری که تغییرات آن‌ها بسیار مشابه می‌باشد. Bosnic & Swanton (1997) نیز ضمن معرفی شاخص سطح برگ (LAI) به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های رقابت، همبستگی مثبت و معنی‌دار بین افت عملکرد ذرت با افت شاخص سطح برگ آن در شرایط افزایش تراکم سوروف گزارش نمودند.

در این بررسی تمام داده‌های آزمایش در حالت کلی (شامل مجموع هر سه زمان سبز شدن سلمه‌تره) به مدل هذلولی مستطیلی تراکم علف‌هرز کوزنس (Cousens, 1985) برازش داده شد و پارامترهای آن برآورد گردید (جدول ۱). در این حالت شیب منحنی (I) ۱۰/۷۸ و ۱۱/۲۶ (سال اول)، ۱۲/۸۹ و ۹/۹۵ (سال دوم) و مجانب (A) در سطح ٦۵/٤۳ و ٤۷/۸٦ (سال اول)، ٦۷/۸۳ و ۳۷/۸۸ (سال دوم) بود که به ترتیب برای درصد کاهش عملکرد دانه و شاخص سطح برگ محاسبه شد (جدول ۱).

جدول ۱- متغیرهای برآورد شده (+ خطای استاندارد) و ضریب تبیین مدل تراکم علف‌هرز (معادله ۱) در حالت کلی (مجموع سه زمان سبز شدن)

Table 1- Predicted variables ($\pm$ SE) and R^2 of weed density model (equation 1)

	Equation 1 in LAI loss			**Equation 1 in yield loss**		
	$\mathbf{R^2}$	***A***	***I***	$\mathbf{R^2}$	***A***	***I***
2001	0.61	47.860 ± 7.98	11.267 ± 3.70	0.38	65.436 ± 21.6	10.789 ± 5.47
2002	0.55	37.887 ± 9.07	9.9536 ± 7.40	0.61	67.835 ± 16.0	12.890 ± 7.17

با وجود این در حالت کلی همانطور که ملاحظه می‌گردد، ضریب تبیین[1] در برخی موارد به شدت پایین و خطای استاندارد نیز بسیار بالا می‌باشد. Bosnic & Swanton (1997) معتقدند اگر خطای استاندارد هر یک از پارامترهای مدل بیش از نصف مقدار عددی آن باشد، مدل از درجه اعتبار خارج می‌شود. بنابراین به منظور تعیین کارایی این مدل در شبیه‌سازی کاهش عملکرد ذرت، از آزمون همبستگی بین مقادیر عملکرد برآورد شده و مشاهده شده استفاده شد (جدول ۲) و مشخص گردید که رگرسیون مقادیر شبیه‌سازی شده توسط این مدل در مقابل مقادیر واقعی کاهش عملکرد، یک رابطه ۱:۱ نمی‌باشد، بلکه از رابطه Y=a*x+b پیروی می‌کند (جدول ۲). که عرض از مبداء و شیب آن به ترتیب اختلاف معنی‌داری با صفر و یک دارند. بدین ترتیب مشخص گردید که این مدل در حالت کلی (ترکیب زمان‌های سبز شدن سلمه‌تره) توانایی کافی برای تخمین کاهش عملکرد ذرت را ندارد و دارای اریبی است. Bosnic & Swanton (1997) نیز ضمن تأکید بر تفاوت قدرت رقابت علف‌های‌هرز هنگامی که در زمان‌های مختلف سبز می‌شوند، بر پایین بودن کارایی این مدل در تخمین کاهش عملکرد ذرت هنگامی که علف‌های‌هرز سوروف در آزمایش آن‌ها در طول زمان سبز شدند، اشاره داشتند. Knezevic *et al*. (1995) نیز در هریک از زمان‌های سبز شدن تاج‌خروس در ذرت، برآوردهای متفاوتی را از پارامترهای این مدل ارایه دادند.

۱- Coefficient determination

محل قرارگیری جدول ۲

بنابراین به منظور ارزیابی کارایی این مدل در هر یک از زمان‌های سبز شدن علف‌هرز، این مدل به داده‌های مربوط به هر یک از زمان‌های سبز شدن سلمه‌تره به صورت جداگانه برازش داده شد (شکل‌های ۱ و ۲). با این کار دقت پیش‌بینی مدل در شبیه‌سازی کاهش عملکرد و شاخص سطح برگ بهبود یافت و به عبارت دیگر ضریب تبیین مدل افزایش یافت (جدول ۱).

مدل مبتنی بر تراکم - زمان نسبی سبز شدن علف‌هرز: با توجه به تأثیر زیاد زمان سبز شدن سلمه‌تره بر عملکرد ذرت که از اختلاف متغیرهای مدل تراکم، در زمان‌های مختلف سبز شدن سلمه‌تره استنباط گردید، انتظار می‌رود مدل تراکم- زمان سبز شدن علف‌هرز (Cousens *et al*., 1987)، توانایی بالاتری را در شبیه‌سازی عملکرد ذرت داشته باشد (معادله ۲). بنابراین کاهش عملکرد مشاهده شده در ذرت توسط این مدل شبیه‌سازی شد (شکل ۳). جدول ۳ ضریب تبیین مدل را به ترتیب برای سال‌های اول و دوم آزمایش در حد ۰/۸۸ و ۰/۹۵ نشان می‌دهد.

این مدل حداکثر کاهش عملکردی معادل ۷/۹۶ ± ۸۶/۳۸ درصد (در سال اول) و ۴/۷۱ ± ۸۳/۱۵ درصد (سال دوم) را برای ذرت برآورد کرده است (جدول ۳) که با نتایج عملی آزمایش (داده‌ها نمایش داده نشده) مطابقت دارد و نشان می‌دهد که بالاترین سطح تراکم بکار رفته در آزمایش در محدوده تراکم‌هایی است که در بالاتر از آن کاهش عملکرد ذرت چشم‌گیر نخواهد بود، مگر آنکه سلمه‌تره زودتر از ذرت سبز شود. همچنین نتایج حاصل از این مدل تأیید کننده این مطلب است که با تأخیر در زمان سبز شدن سلمه‌تره، رابطه کاهش عملکرد ذرت با تراکم از حالت هذلولی به حالت خطی گرایش می‌یابد (شکل ۳). با ایجاد رگرسیون خطی بین کاهش عملکرد واقعی و کاهش عملکرد شبیه‌سازی شده ذرت توسط این مدل، مشخص شد که از یک رابطه ۱:۱ پیروی می‌کند و عرض از مبداء و شیب رگرسیون حاصل به ترتیب اختلاف معنی‌داری با صفر و یک ندارند (جدول ۲). در نتیجه این مدل کارایی لازم را جهت تخمین کاهش عملکرد ذرت بر اثر تداخل سلمه‌تره در شرایط مورد آزمایش داراست.

در آزمایش Bosnic & Swanton (1997) نیز سبز شدن سوروف پس از مرحله ٤ برگی ذرت عملکرد این گیاه را بین صفر تا ٦ درصد کاهش داد. Tollenaar *et al.* (1994) نیز بر اساس نتایج

آزمون خود نتیجه گرفتند که اگر علف‌های‌هرز ذرت بعد از مرحله ٤-٣ برگی آن سبز شوند، تأثیر آن‌ها ناچیز خواهد بود. در تحقیق حاضر میانگین کاهش عملکرد ذرت به ترتیب در سال اول و دوم هنگامی‌که سلمه‌تره در سومین مرحله سبز شد، ۹ و ٢٤ درصد (به ترتیب ۵-۴ برگی در سال اول و ۶-۵ برگی در سال دوم) بود. این کاهش عملکرد در سبز شدن همزمان آن‌ها به ٦٠ و ۷۰ درصد افزایش یافت.

برآورد افت عملکرد ذرت توسط این مدل نشان داد که سلمه‌تره با تراکم یک بوته در مترمربع هنگامی‌که همزمان با ذرت سبز شد، سبب کاهش عملکرد این گیاه زراعی به ترتیب به میزان ۲۵ و ۲۷ درصد در سال اول و دوم آزمایش شد. تأخیر در زمان سبز شدن سلمه‌تره تا مراحل ٥-٤ برگی و ٦-٥ برگی ذرت سبب شد تا این مقدار افت عملکرد در تراکم‌های ۲۰ و ۲۵ بوته در مترمربع سلمه‌تره بدست آید.

Bosnic & Swanton (1997) نیز گزارش کردند که تراکم ۳۰ بوته در مترمربع سوروف هنگامی که در مرحله ۳ برگی ذرت سبز شود، عملکرد ذرت را ١٤ درصد کاهش می‌دهد. در صورتی که سوروف با همین تراکم در مرحله ۷ برگی ذرت سبز شود، میزان افت عملکرد ذرت تا ٤ درصد تقلیل می‌یابد. آن‌ها همچنین کارایی مدل تراکم - زمان نسبی سبز شدن علف‌هرز را در تخمین کاهش عملکرد ذرت به هنگام رقابت سوروف، مناسب تشخیص دادند. این در حالی است که برخی محققان بر کارایی بهتر مدل سطح برگ نسبی علف‌هرز نسبت به سایر مدل‌ها در آزمایش‌های خود تأکید داشته‌اند (Lutz *et al*., 1996; Knezevic *et al*., 1995).

مدل مبتنی بر سطح برگ نسبی علف‌های‌هرز: شکل ٤ مدل دو پارامتری را در طی دو سال آزمایش نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌کنید در سال اول ضریب q در سه زمان سبز شدن برابر ۲/۵۳، ١/٢٤ و ١/٥٣ می‌باشد که مقادیر بیشتر از یک را نشان می‌دهند. در نتیجه با این فرضیه که اگر ضریب خسارت نسبی (q) به عدد یک نزدیک شود و یک رابطه خطی ایجاد کند در واقع بیانگر مشابه بودن عملکرد کشت خالص گیاه زراعی و علف‌هرز با عملکرد در شرایط رقابتی است و اگر ضریب خسارت نسبی بزرگتر از یک باشد یک منحنی محدب تشکیل می‌شود که بیانگر قوی‌تر بودن علف‌هرز در برابر گیاه زراعی است، می‌توان گفت که در هر سه زمان، سلمه‌تره رقیبی قوی‌تر از ذرت می‌باشد.

جدول ۳- متغیرهای برآورد شده (± خطای استاندارد) و ضریب تبیین برای مدل تراکم- زمان نسبی سبز شدن علف‌هرز (معادله ۲)

Table 3- Predicted variables (± SE) and R^2 of weed density- relative time of emergence model (equation 2)

	Z	*x*	*y*	df	R^2
2001	86.380 ± 7.96	36.210 ± 9.27	0.110 ± 0.01	42	0.88
2002	83.155 ± 4.71	41.404 ± 12.3	0.105 ± 0.01	29	0.95

در سال دوم، دو زمان اول سبز شدن (همزمان و سبز شدن در ۳-۲ برگی) اعدادی بیشتر از یک را نشان می‌دهند اما سبز شدن در ٦-۵ برگی عدد ۰/۷٤ را نشان می‌دهد که در واقع مغلوب بودن سلمه‌تره در رقابت با ذرت را بیان می‌کند (شکل ۴).

شکل ۵، شبیه‌سازی درصد کاهش عملکرد را توسط مدل تک پارامتری در طی دو سال آزمایش نمایش می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد بین هر یک از سه زمان سبز شدن اختلاف قابل ملاحظه‌ای مشهود است، بطوری‌که همزمان سبز شدن علف‌هرز با داشتن بیشترین سطح برگ نسبی، باعث بیشترین کاهش عملکرد گردیده و با به تأخیر افتادن زمان سبز شدن شیب خطوط مدل نیز پایین آمده است. ضریب q در طی دو سال آزمایش و در هر سه زمان سبز شدن عددی کوچکتر از یک را نشان می‌دهد که در واقع نمایانگر برتر بودن ذرت در رقابت با سلمه‌تره می‌باشد. تفاوت مدل دو پارامتری (معادله ۵)، با تک پارامتری (معادله ۳) افزوده شدن پارامتری به نام حداکثر کاهش عملکرد (m) می‌باشد که در شکل ٦ مقادیر آن نمایش داده شده است. مقادیر این متغیر با به تأخیر افتادن زمان سبز شدن افزایش صعودی دارد که با شرایط واقعی مطابقت ندارد.

به منظور ارزیابی این دو مدل از رگرسیون حاصل بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده توسط مدل‌ها استفاده گردیده است (جدول ٤).

محل قرارگیری شکل ۳

محل قرارگیری شکل ۴

محل قرارگیری شکل ۵

محل قرارگیری شکل ۶

محل قرارگیری جدول ۴

شیب حاصل (a) در سال اول، در هر دو مدل، در دو زمان اولیه سبز شدن، نزدیک به یک می‌باشد اما سومین زمان سبز شدن، اختلاف قابل ملاحظه‌ای با مقدار عددی یک دارد. اما در سال دوم تنها همزمان سبز شدن در مدل دو پارامتری، ضریب a نزدیک به عدد یک می‌باشد و در دو زمان بعدی اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارند. در نهایت می‌توان گفت که با به تأخیر افتادن زمان سبز شدن کارایی مدل پایین می‌آید و در سال دوم آزمایش این مدل از کارایی خوبی در پیش‌بینی کاهش عملکرد برخوردار نبود، اما در سال اول می‌توان کارایی آن را قابل قبول توصیف کرد. با توجه به این نکته که یکی از عوامل آزمایشی بکار رفته، زمان نسبی سبز شدن می‌باشد، در مورد این مدل نیز علاوه بر برازش در مورد هریک از سطوح زمان نسبی سبز شدن، مدل‌های تک پارامتری و دو پارامتری در حالت کلی (مجموع سه زمان سبز شدن)، برازش داده شد (شکل ٦). با برازش داده‌های مربوط به سطح برگ نسبی سلمه‌تره به مدل‌های یک و دو پارامتری سطح برگ نسبی (معادلات ۳ و ۵) در حالت کلی مشخص شد که این دو مدل در سال اول اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($\alpha = 1\%$). اما در سال دوم اختلاف آن‌ها معنی‌دار گردید و مدل تک پارامتری سطح برگ نسبی به صورت خطی درآمد ($\alpha = 1\%$) (شکل ٦). همانطور که ملاحظه می‌گردد در هر دو سال آزمایش مدل‌ها از ضریب تبیین بالایی برخوردار بودند. در سال اول آزمایش، هر دو مدل تا هنگامی‌که سطح برگ نسبی سلمه‌تره کمتر از ۰/۵ بود بر یکدیگر منطبق بودند، ولی پس از آن، مدل یک پارامتری، کاهش عملکرد بیشتری را برای ذرت پیش بینی نمود (شکل ٦). در سال دوم آزمایش نیز کاهش عملکرد در دو مدل با اندکی تفاوت تا سطح برگ نسبی ۰/۷ سلمه‌تره، مشابه بود اما پس از آن مدل تک پارامتری کاهش بیشتری از عملکرد را پیش‌بینی نموده (شکل ٦). این موضوع با ساختار ریاضی مدل دو پارامتری Kropff & Lotz (1992) در ارتباط است. زیرا این مدل یک حداکثر کاهش عملکرد (m) را برای گیاه زراعی در نظر می‌گیرد و مقدار عددی آن در این آزمایش برای سال اول و دوم آزمایش به ترتیب حدود ۰/۹۳ و ۰/۹۹ برآورد گردید. در آزمایش Dielman *et al.* (1995) مدل تراکم- زمان نسبی سبز شدن علف‌هرز، تخمین بهتری از مدل سطح برگ نسبی علف‌هرز ارائه داد. آن‌ها همچنین به برآورد بهتر مدل یک پارامتری سطح برگ، نسبت به مدل دو پارامتری آن در آزمایش خود اشاره داشتند.

در آزمایش Knezevic *et al*. (1995) مدل دو پارامتری سطح برگ نسبی، تخمین دقیق‌تری از کاهش عملکرد ذرت در رقابت با تاج خروس ارائه داد. آن‌ها علت کارائی بهتر مدل دو پارامتری در آزمایش خود را مقدار حداکثر کاهش عملکرد ذرت ذکر کردند که توسط این مدل، به میزان ۲٤ تا ٤۱ درصد در نظر گرفته شد. به نظر می‌رسد که در بررسی حاضر، عدم برتری معنی‌دار نسخه دو پارامتری این مدل با سطح بالای کاهش عملکرد ذرت بر اثر تداخل سلمه‌تره در ارتباط باشد. همچنین مقدار ضریب خسارت نسبی علف‌هرز (q) در نسخه دو پارامتری این مدل بیشتر از نسخه یک پارامتری آن پیش‌بینی شد که از این نظر با نتایج Knezevic *et al*. (1995) مطابقت دارد. در واقع q بیانگر توانایی نسبی رقابت علف‌هرز در مقابل گیاه زراعی است و مقدار عددی بیشتر آن بیانگر قدرت رقابت بیشتر علف‌هرز و در نتیجه کاهش عملکرد بیشتر گیاه زراعی است (Kropff & Spitters, 1992).

Kropff & Spitters (1992) گزارش کردند که مقدار ضریب خسارت نسبی بزرگتر از یک، برتری علف‌هرز و مقادیر کمتر از یک، برتری گیاه زراعی را در رقابت نشان می‌دهد و در صورتی که هر دو گیاه در رقابت توانایی یکسانی داشته باشند مقدار عددی این شاخص مساوی یک خواهد بود. منحنی کاهش عملکرد گیاه زراعی در مقابل سطح برگ نسبی علف‌هرز در حالت اول ($q > 1$) محدب و در حالت دوم ($q < 1$) مقعر است و در حالت سوم ($q = 1$) به خط راست تبدیل می‌شود(Ngouajio *et al*., 1999).

در تحقیق حاضر با توجه به مقدار عددی q برآورد شده توسط مدل دو پارامتری (۰/۱۹ ± ۱/۸۱ برای سال اول و ۰/۱۵ ± ۱/۳۰ برای سال دوم) مشخص شد که بطور کلی، سلمه‌تره رقیب قوی‌تری نسبت به ذرت است. Ngouajio *et al*. (1999) در آزمایش خود مقدار ضریب خسارت نسبی سلمه‌تره در رقابت با ذرت را بین ۰/۱٤ تا ۵/۰۵ گزارش کردند. در مطالعه آن‌ها کاهش عملکرد ذرت در رقابت با سلمه‌تره، توسط مدل سطح برگ نسبی علف‌هرز به خوبی توجیه نشد، آن‌ها کارایی کم این مدل را با تفاوت موجود در اندازه نهایی گیاهان سلمه‌تره مرتبط دانستند. Ngouajio *et al*. (1999) در سال اول آزمایش خود خط رگرسیونی بین کاهش عملکرد ذرت و سطح برگ نسبی سلمه‌تره را محدب و در سال دوم آزمایش مقعر گزارش کردند. آن‌ها بدین ترتیب ضمن اشاره به تأثیر شدید شرایط محیطی بر

قدرت رقابتی این دو گیاه، بر ضعف کارایی مدل‌های مبتنی بر سطح برگ نسبی در آزمایش خود تأکید کردند.

همبستگی مقادیر شبیه‌سازی شده عملکرد ذرت توسط این مدل (در حالت کلی)، در مقابل مقادیر واقعی آن به منظور ارزیابی کارایی مدل سطح برگ نسبی علف‌هرز، نشان داد که رابطه بین این دو متغیر به نسبت ۱:۱ نزدیک است (جدول ٤). در نتیجه می‌توان گفت که این مدل در شبیه‌سازی کاهش عملکرد ذرت ناشی از سلمه‌تره کارایی قابل قبولی دارد.

بطور کلی با مقایسه سه مدل فوق‌الذکر (تراکم- کاهش عملکرد؛ تراکم، زمان سبز شدن- کاهش عملکرد؛ سطح برگ نسبی-کاهش عملکرد)، مشخص شد که دو مدل تراکم- زمان نسبی سبز شدن و سطح برگ نسبی علف‌هرز (در حالت مجموع سه زمان سبز شدن) با دارا بودن حداکثر ضریب تبیین و نزدیک بودن شیب خط رگرسیونی (بین کاهش عملکرد برآورد شده و مقادیر واقعی) به عدد ۱ بیشترین کارایی را در پیش‌گویی کاهش عملکرد داشتند (جدول ۲ و ٤). البته از بین مدل‌هایی که برای هریک از سه زمان سبز شدن برازش داده شده است مدل تراکم-کاهش عملکرد بیشترین کارایی را داشت. در ضمن اشاره به این نکته ضروری است که علی‌رغم توانایی بالای مدل‌های مبتنی بر سطح برگ نسبی علف‌هرز، عدم وجود یک روش سریع در تخمین سطح برگ یک محدودیت عمده در آن‌ها محسوب می‌گردد (Knezevic *et al*., 1995; Ngouajio *et al*., 2001; Lutz *et al*., 1996). مدل تراکم و زمان نسبی سبز شدن نیز اگرچه توانایی خوبی در پیش‌گویی کاهش عملکرد داشت، اما با توجه به جوانه‌زنی غیریکنواخت سلمه‌تره در طول فصل، تعیین تراکم این گیاه در هر یک از زمان‌های نسبی سبز شدن سلمه‌تره قدری دشوار به نظر می‌رسد. البته با بهبود شناخت و آگاهی از چگونگی اثرات محیطی بر سبز شدن و رشد علف‌های‌هرز، می‌توان تا حدی این نقص را بهبود بخشید.

نشانی نگارندگان: مهندس مهدی آقابیگی، مرکز تحقیقات کشاورزی ورامین، ایران؛ دکتر اسکندر زند و دکتر محمدعلی باغستانی، مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، صندوق پستی ١٤٥٤، تهران ١٩٣٩٥، ایران.