فصلنامه تحقیقات نوین در گیاه‌پزشکی
دانشگاه آزاد اسلامی شیراز
۱۴۰۱ - ۱۱ : ۲۱ - ۴۴

مروری بر مدل‌سازی خواب و جوانه‌زنی بانک بذر

(مقاله مروری)

رحمان خاکزاد *، رسول لقمانپور زرینی

آموزشکده کشاورزی ساری، دانشگاه فنی و حرفه ای، ساری، مازندران، ایران

(*) rahman.khakzad@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۵ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۰/۰۳/۱۲

چکیده

خواب بذر عبارت است از عدم جوانه‌زنی بذرهای زنده در یک دوره زمانی مشخص تحت شرایط بهینه برای جوانه‌زنی بذرهای غیرخفته و یکی از مکانیسم‌های اصلی مسئول برای حمله و تداوم علف‌های هرز در مزارع کشاورزی است. عوامل محیطی مانند رطوبت، دما و مواد شیمیایی بر رهاسازی و القای خواب بذر و در نتیجه جوانه‌زنی و الگوهای رویش گیاهچه در مزرعه تاثیر می‌گذارند. بنابراین آگاهی در مورد خواب بذر و ارتباط آن با عوامل محیطی برای پیش‌بینی زمان‌بندی جوانه‌زنی و اجرای یک استراتژی منطقی مدیریت علف‌های هرز ضروری است. بانک بذر خاک منبع اولیه آلودگی‌های جدید علف‌های هرز یک ساله در سیستم‌های تولید گیاه زراعی است. برخی از علف‌های هرز یک ساله بذرهایی تولید می‌کنند که برای سال‌های زیادی در خاک زنده باقی می‌مانند، در حالی که برخی دیگر بذرهایی تولید می‌کنند که ممکن است فقط برای یک فصل تنها زنده باشند. دوام بذر نیز ممکن است توسط عمق دفن تحت تأثیر قرار بگیرد. بنابراین آگاهی از طول دوام بذر در بانک بذر خاک و حالت تناوبی رویش گیاهچه همانطور که توسط محیط تحت تاثیر قرار می‌گیرد برای مدیریت موثر علف‌های هرز از اهمیت زیادی برخوردار است. در این بررسی، مدل‌های خواب و جوانه‌زنی برای پیش‌بینی زمان‌بندی و میزان رویش از بانک بذر علف‌های هرز ارائه خواهد شد. امیدواریم که این مقاله بینش کلی نسبت به مدل‌سازی خواب و جوانه‌زنی بانک بذر و کاربردشان در علم علف‌های هرز ارائه دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوهای رویش، پیش بینی، دوام بذر، عوامل محیطی، مدیریت علف هرز.

مقدمه

برای به حداکثر رساندن موفقیت استراتژی مدیریت علف‌های هرز، ما باید اثر عملیات کنترل را برای جلوگیری از تلفات عملکرد گیاه زراعی به دلیل رقابت علف‌های هرز در کوتاه مدت و حفظ سطوح پایین جمعیت علف‌های هرز در بلند مدت بهینه شود. برای دستیابی به این اهداف، درک پایه‌های بیولوژیکی و اکولوژیکی فرایند علف هرزی و تعیین مراحل آن در چرخه زندگی علف‌های هرزی که در تنظیم آن مهم هستند، ضروری است. هنگامی که مراحل بحرانی آنها تعیین شده‌اند، توسعه مدل‌هایی که اجازه پیش‌بینی وقوع آنها را در زمان و فضا می‌دهند برای کمک به کشاورزان و متخصصان زراعت در تصمیمات مدیریت علف‌های هرز ضروری می‌شود (Ogg & Dawson, 1984; Buhler *et al*., 1997).

رویش علف‌های هرز معمولا یک مرحله حیاتی برای کاربرد عملیات کنترل علف‌های هرز است، زیرا گیاهان جوان و گیاهچه‌های علف‌های هرز در آن مرحله آسیب‌پذیرتر هستند (Radosevich *et al*., 1997). در نتیجه هنگامی که علف‌های هرز بلافاصله پس از رویش کنترل می‌شوند، روش‌های کنترل مؤثرتر هستند (Fenner, 1987; Batlla & Benech-Arnold, 2007). بنابراین امکان پیش‌بینی زمان‌بندی و میزان رویش علف‌های هرز از بانک بذر خاک از اهمیت فوق العاده‌ای برای افزایش اثربخشی عملیات کنترل برخوردار است (Grundy *et al*., 2000).

بانک بذر علف‌های هرز به عنوان منبع اولیه آلودگی علف‌های هرز در مزارع زراعی در نظر گرفته می‌شود (Buhler, 1999; Grundy & Mead, 2000). اگر چه بذرهای دفن شده می‌توانند غیرخفته باشند، اما بیشتر جمعیت بذرهای علف‌های هرز که حاوی بانک بذر پایدار هستند، معمولا خواب نشان می‌دهند. در گونه‌های علف هرزی که خواب را نشان می‌دهند، تعداد گیاهچه‌های استقرار یافته به شدت با سطح خواب بانک بذر ارتباط دارد و زمان‌بندی رویش گیاهچه به تغییر فصلی در سطح خواب بانک بذر بستگی دارد (Benech-Arnold *et al*., 2000). بنابراین اگر وانمود کنیم که زمان‌بندی و میزان رویش گیاهچه را از بانک‌های بذر پیش‌بینی می‌کنیم، باید خواب را در مدل‌های پیش‌بینی کننده خودمان در نظر بگیریم (Batlla & Benech-Arnold, 2010).

رویش علف‌های هرز را می‌توان به زیر فرایندهای مختلف تقسیم کرد که توسط عوامل مختلف تنظیم می‌شوند: (الف) عبور بذرها از حالت خفته به غیرخفته و بالعکس، (ب) فرایند جوانه‌زنی و (ج) رشد پیش رویشی (Vleeshouwers & Kropff, 2000). اگرچه عوامل تنظیم کننده رشد پیش رویشی گاهی اوقات می‌توانند زمان‌بندی و میزان رویش گیاهچه را در بیشتر مکان‌های کشاورزی تحت تاثیر قرار دهند، اما فقط با در نظر گرفتن عوامل موثر بر خواب و جوانه‌زنی می‌توان رویش را به اندازه کافی پیش‌بینی کرد، بنابراین این مقاله مروری بر روی این دو فرایند اخیر متمرکز خواهد شد. برای پیش‌بینی رویش گیاهچه، باید (۱) بدانیم که عوامل محیطی کلیدی تنظیم کننده خواب و جوانه‌زنی بذر در یک سناریوی بوم‌شناسی خاص کدامند، (۲) تصور روشنی از نحوه تأثیر این عوامل محیطی کلیدی بر هر دو فرایند (خواب و جوانه‌زنی بذر) داشته باشیم و (۳) روابط عملی بین عوامل تنظیم کننده و فرایندهای هدف ایجاد کنیم. در این مقاله ما یک چارچوب مفهومی از نحوه خواب و جوانه‌زنی بانک‌های بذر علف‌های هرز که توسط عوامل محیطی تنظیم می‌شوند، ارائه خواهد شد.

تنظیم محیطی خواب در بانک بذر علف‌های هرز

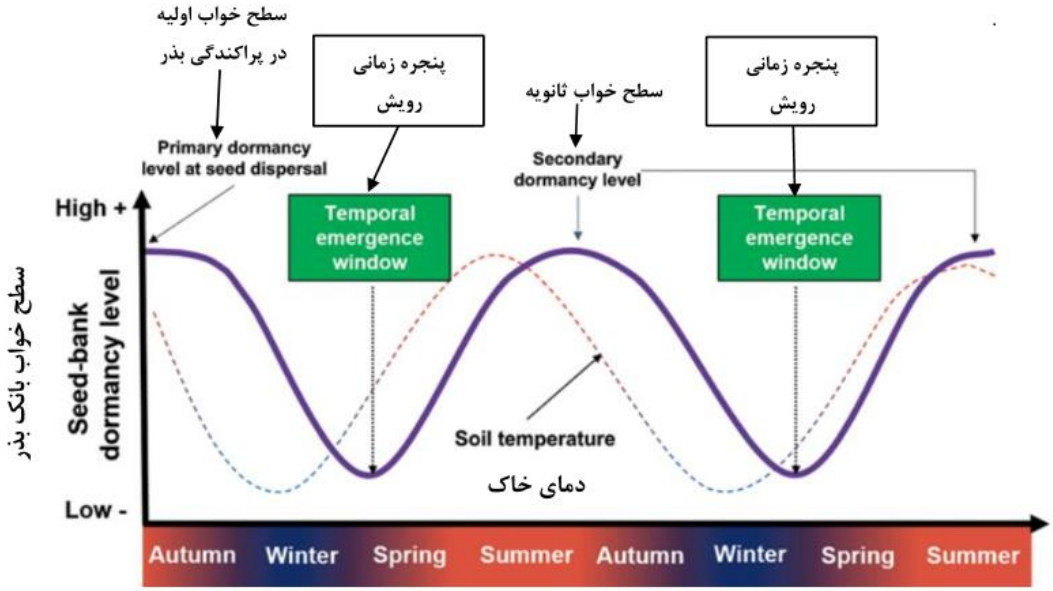
خواب را می‌توان به عنوان یک مقاومت[1] درونی تعریف کرد که از جوانه‌زنی تحت شرایط رطوبتی، دمایی و گازی جلوگیری می‌کند که در غیر این صورت برای جوانه‌زنی مناسب خواهد بود (Egley, 1986; Benech-Arnold *et al*., 2000). Nikolaeva (1967) یک سیستم طبقه‌بندی خواب را طراحی کرد که منعکس کننده این واقعیت است که خواب هم از طریق خصوصیات مرفولوژیکی و هم فیزیکی بذر تعیین می‌شود. بر اساس این طرح، Baskin & Baskin (2004) یک سیستم طبقه‌بندی جامع را پیشنهاد کرده‌اند که شامل پنج کلاس از خواب بذر است: فیزیولوژیکی، فیزیکی، ترکیبی (فیزیولوژیکی و فیزیکی)، مورفولوژیکی و مورفوفیزیولوژیکی. خواب فیزیولوژیکی احتمالا رایج‌ترین نوع خواب در بانک بذر علف‌های هرز عمده کشاورزی در اقلیم معتدله و فراوان‌ترین کلاس خواب "در مزارع" است. بنابراین تمرکز اصلی این بررسی، خواب فیزیولوژیکی است.

خواب را می‌توان به خواب اولیه و خواب ثانویه طبقه‌بندی کرد (Karssen, 1982). در حالی که خواب اولیه به بذرهای در حالت خفته موجود در هنگام پراکندگی اشاره دارد، خواب ثانویه ناشی از القای مجدد خواب در بذرهای پراکنده شده است که قبلا از خواب اولیه رها شده بودند یا به سطح خواب کم رسیده بودند (شکل ۲). معمولا پس از تعیین پراکندگی رویش بخشی از بانک بذر، هنگامی که شرایط محیطی برای جوانه‌زنی مطلوب است، سطح خواب اولیه با گذشت زمان کاهش می‌یابد (شکل ۲). بخشی از بانک بذر که

1- Impedance

رویش نیافته است، یا به این دلیل که بذرها به اندازه کافی به سطح خواب کم نرسیده‌اند یا به علت اینکه شرایط محیطی برای جوانه زنی مطلوب نبوده، ممکن است وارد حالت خواب ثانویه شوند (Baskin & Baskin, 1988) (شکل ۱).

خروج از خواب و به دنبال آن القاء مجدد بعدی به خواب ثانویه ممکن است تغییرات دوره‌ای نامحدود فصلی در سطح خواب بانک بذر را تعیین کند (Baskin & Baskin, 1988) (شکل ۱). پویایی این تغییرات دوره‌ای مربوط به تغییرات فصلی در طول سال به چرخه زندگی گونه‌ها بستگی دارد. برای بسیاری از گونه‌های یک ساله تابستانه، سطح خواب بانک بذر معمولا در طی زمستان کاهش می‌یابد که تعیین کننده یک سطح حداقلی خواب در ابتدای بهار می‌باشد و در پایان بهار و ابتدای تابستان دوباره افزایش می‌یابد (شکل ۲). این پویایی تضمین می‌کند که "پنجره رویش" فصلی در طی بهار به موقع اتفاق می‌افتد و به گیاهان حاصله اجازه می‌دهد تا به منظور جلوگیری از یخ زدگی، مرحله تولید مثلی خود را در طی تابستان قرار دهند. بر عکس گونه‌های آشکار کننده چرخه زندگی یک ساله پاییزه-زمستانه، به طور کلی الگوی خواب معکوس را نشان می‌دهند (یعنی سطح خواب در طی تابستان کاهش می‌یابد و در طی زمستان افزایش می‌یابد (Batlla & Benech-Arnold, 2007). عوامل محیطی که خواب بذرهای دفن شده را تحت تأثیر قرار می‌دهند می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: آنهایی که سطح خواب را تنظیم می‌کنند و آنهایی که خواب را پایان می‌دهند (Benech-Arnold *et al.*, 2000).



شکل ۱- نمایش شماتیک تغییرات فصلی دوره‌ای در سطح خواب بانک بذر برای یک علف هرز یکساله تابستانه. خط توپر سطح خواب بانک بذر را نشان می‌دهد و خط نقطه چین دمای خاک را نشان می‌دهد.

Figure 1- Schematic representation of cyclic seasonal changes in seedbank dormancy level for a summer annual weed. Solid line indicates seedbank dormancy level, and dotted line indicates soil temperature.

عوامل تنظیم کننده سطح خواب

تغییرات فصلی در سطح خواب بانک بذر توسط عوامل محیطی تنظیم می‌شوند که وقوع رویش را در فصل "مناسب" تضمین می‌کنند. از دما به عنوان عامل اصلی تنظیم کننده تغییرات در سطح خواب در بذرهای بسیاری از گونه‌های علف هرز اشاره شده است (Baskin & Baskin, 1985; Batlla & Benech-Arnold, 2010). روشی که دما بر سطح خواب بذر تأثیر می‌گذارد، می‌تواند بسته به چرخه

حیات گونه‌ها متفاوت باشد. در مورد یک ساله‌های تابستانه، دماهای پایین زمستان، سطح خواب که تعیین کننده حداقل خواب در ورودی بهار است را کاهش می‌دهند، در حالی که دماهای بالای تابستان، سطح خواب را افزایش می‌دهند که منجر به ورود به خواب ثانو یه می‌شوند (شکل ۱). این نوع رفتار در بسیاری از گونه‌های با رویش بهاره مانند سلمه تره (*Chenopodium album* L.)، خاکشیر طبّی (*Sisymbrium officinale* L.)، هفت بند هلو یی (*Polygonum persicaria* L.) (Bouwmeester, 1990)، علف هفت بند (*Polygonum aviculare* L.) (Kruk & Benech-Arnold, 1998) و آمبروژیا (*Ambrosia artemisiifolia* L.) (Baskin & Baskin, 1980) مشاهده شده است. در مقابل دماهای بالای تابستان، رهاسازی خواب در گونه‌های یکساله زمستانه را تعیین می‌کنند، در حالی که دماهای پایین زمستان ممکن است خواب ثانو یه را تحریک کنند (Karssen, 1982). رهاسازی خواب به دلیل دماهای بالای تابستان در بسیاری از گونه‌های یکساله زمستانه مانند یولاف وحشی (*Avena fatua* L.) (Baskin & Baskin, 1998)، چچم سخت (*Lolium rigidum* Gaud.) (Steadman *et al*., 2003)، علف پشمکی (*Bromus tectorum* L.) (Christensen *et al*., 1996)، ذرت گرومول [*Buglossoides arvensis* (L.) I.M. Johnst.] (Chantre *et al*., 2009) و کنگر فرنگی خاردار (*Cynara cardunculus* L.) (Huarte *et al*., 2018) مشاهده شده بود. این اثر دما توسط محتوای رطو بت بذر تعدیل می‌شود که به نو به خود به محتوای آب خاک بستگی دارد. به عنوان مثال در بسیاری از یکساله‌های تابستانه، هنگامی که بذرهای سیراب شده، دماهای پایین را در طی زمستان درک می‌کنند (به عنوان مثال استراتیفیکاسیون)، رهاسازی خواب رخ می‌دهد. بر عکس بذرهای گونه‌های یکساله زمستانه توسط دماهای بالا در طی تابستان معمولا در محتوای رطو بت کم بذر (یعنی پس‌رسی خشک) از خواب رها می‌شوند (Karssen, 1982; Probert, 1992; Bair *et al*., 2006). افزون بر این الگوهای کلی پاسخ، گونه‌هایی وجود دارند که بسته به میزان رطو بت بذر آنها، دماهای پایین و بالا هر دو می‌توانند باعث تحریک رهاسازی خواب، اگرچه در مقادیر متفاوت، شوند [به عنوان مثال آرابیدو پسیس (*Arabidopsis thaliana* L.) (Finch-Savage *et al*., 2007)].

عوامل پایان دهنده خواب

در بسیاری از گونه‌های علف هرز به محض دستیابی به حداقل خواب، نیاز به پایان یافتن خواب است یا باید آخرین موانع برداشته شوند تا جوانه‌زنی ادامه یابد. پایان خواب به عمل (کنش) نشانه‌های محیطی خاصی نیاز دارد که متفاوت از آنهایی است که تغییرات در سطح خواب را مشروط بر اطلاعات در "سطح فصلی" تنظیم می‌کنند. بر عکس، از نقطه نظر اکولوژیکی این عوامل پایان دهنده خواب نشان می‌دهند که آیا "مکان" به اندازه کافی برای جوانه‌زنی و استقرار امن است (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006). در میان این عوامل، متداول ترین تحت شرایط مزرعه، نور و دماهای متناوب هستند. اگرچه بسیاری از عوامل دیگر وجود دارند که می توانند موجب پایان خواب تحت شرایط خاص، مانند نیترات ها، اتیلن و دی اکسید کربن شوند (Benech-Arnold *et al*., 2000). پاسخ‌های نوری برای عملکرد بانک‌های بذر علف‌های هرز از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار هستند (Batlla & Benech-Arnold, 2014). بذرها محرک‌های نور را از طریق گیرنده‌های نوری عمدتا آنهایی که متعلق به خانواده فیتوکروم هستند، درک می‌کنند. فیتوکروم‌ها دو شکل قابل تبدیل دارند: Pfr (فرم فعال برای جوانه‌زنی در نظر گرفته می‌شود) که حداکثر جذب خود را در حدود ۷۳۰ نانومتر (نور FR) ارائه می‌دهد و Pr که حداکثر جذب خود را در حدود ۶۶۰ نانومتر (نور R) ارائه می‌دهد (Borthwick et al., 1954). فیتوکروم‌ها در بذر به شکل Pr سنتز می‌شوند و بخشی که به شکل فعال (Pfr) تبدیل می‌شود بستگی به محیط نوری (ترکیب طیفی و تابش) دارد که بذر در معرض آن قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، قرارگیری در معرض یک محیط نوری که با نسبت R/FR بالا مشخص می‌گردد، منجر می‌شود که بخش زیادی از مولکول به شکل فعال خود (Pfr) باشد که باعث انبوهی از وقایع ختم شده در پایان‌دهی خواب خواهد شد. عمل فیتوکروم در حالت LFR[1] (پاسخ کم تسلط) اطلاعاتی را در مورد وجود نهایی همسایگان مستقر در بذرها فراهم می‌کند که در استقرار گیاهچه جدید اختلال ایجاد خواهد کرد، مکانیسمی که به عنوان فاصله سنج شناخته می‌شود (Pons,

1- Low-fluence response (LFR)

1992). در مقابل عمل فیتوکروم در حالت VLFR[۲] (پاسخ بسیار کم تسلط) نوع دیگری از اطلاعات را در بذرها فراهم می‌کند که مربوط به اختلال (برهم‌زنی) خاک در محیط‌های کشاورزی است که فرصتی برای استقرار گیاهچه ایجاد می‌کند (Batlla & Benech-Arnold, 2014). بسیاری از بذرها برای پایان‌دهی خواب به محرک نوسانات دمایی نیاز دارند. محرک‌ها می‌توانند از طریق ویژگی‌های مختلف مانند دامنه حرارتی چرخه، اثر تجمعی چرخه‌های تحریک کننده (یعنی تعداد چرخه‌ها) یا دمای بالاتر چرخه اعمال شوند (Totterdell & Roberts, 1980). همانطور که در مورد فیتوکروم‌ها در حالت LFR یا در حالت VLFR اعمال می‌شود، به نوسانات دمایی برای پایان‌دهی خواب نیاز است و موجب جوانه‌زنی بیشتر می‌شود که مربوط به امکان تشخیص عمق دفن، اختلال خاک و شکاف‌های گیاهی است (Benech-Arnold *et al*., 2000).

سطح خواب بانک بذر و ارتباط آن با دامنه شرایط محیطی مجاز برای جوانه‌زنی

تغییرات فصلی در سطح خواب بذر ناشی از دما مربوط به تغییرات در دامنه شرایط محیطی است که تحت آن جوانه‌زنی می‌تواند رخ دهد (Vegis 1964; Vleeshouwers *et al*. 1995). به عنوان مثال همانطور که خواب کاهش می‌یابد، دامنه دمایی مجاز برای جوانه‌زنی به تدریج گسترش می‌یابد تا زمانی که به حداکثر برسد، در حالی که همانطور که خواب القاء می‌شود، دامنه دمایی باریک می‌شود تا زمانی که جوانه‌زنی دیگر در هیچ دمایی ممکن نیست و به خواب کامل رسیده است (Karssen 1982; Bouwmeester & Karssen 1992) (شکل ۲). این محدوده معمولا با دو دمای حد آستانه تعیین می‌شود: (۱) دمای حد پایین‌تر (T_l) که پایین آن خواب بیان می‌شود) و (۲) دمای حد بالاتر (T_h) که بالای آن خواب بیان می‌شود) که فرض می‌شود به طور طبیعی در درون جمعیت بذر که نشان‌دهنده یک میانگین، $T_l(50)$ و $T_h(50)$ و انحراف معیارهای مربوطه آنها، σ_{Tl} و σ_{Th} است، توزیع می‌شوند (Washitani, 1987; Batlla & Benech-Arnold, 2015). در یکساله‌های تابستانه، تغییرات در سطح خواب عمدتا نتیجه کاهش یا افزایش در T_l به ترتیب برای رهاسازی و القاء خواب است (شکل ۲)، در حالی که در یکساله‌های زمستانه، این تغییرات از طریق افزایش و کاهش در T_h به ترتیب برای رهاسازی و القاء خواب ایجاد می‌شوند (همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، خطوط سیاه تو پر میانگین دماهای حد پایین‌تر [$T_l(50)$] و حد بالاتر [$T_h(50)$] محدوده حرارتی مجاز برای جوانه‌زنی بذر را نشان می‌دهند. خطوط سیاه نقطه چین، T_l را برای ۲۵ و ۷۵ درصد از بخش جمعیت بذر نشان می‌دهند. خطوط قرمز-آبی نقطه چین، دمای خاک را نشان می‌دهند. منطقه سبز نشان‌دهنده لحظه‌ای است که جوانه‌زنی با ورود دمای خاک در محدوده حرارتی مجاز برای جوانه‌زنی بذر رخ می‌دهد. فلش‌های سیاه به ترتیب کاهش و افزایش در T_l در طی رهاسازی و القاء خواب را نشان می‌دهند. منحنی زنگوله شکل نشان‌دهنده این است که فرض می‌شود که T_l به طور معمول در درون جمعیت بذر توزیع می‌شود (Probert, 2000; Malavert *et al*., 2017).نترل علف‌های هرز پس از استقرار آنها سخت‌تر است، بنابراین جلوگیری از ورود علف‌های هرز بیگانه به یک منطقه جدید معمولا آسان‌تر و هزینه کمتری نسبت به کنترل پس از گسترش آنها دارد. کنترل پیشگیرانه علف‌های هرز استفاده از اقداماتی است که با هدف جلوگیری از ورود، استقرار و یا گسترش برخی گونه‌های مشکل‌ساز در مناطقی که هنوز توسط آنها آلوده نشده اند، انجام می‌شود (Silva *et al*., 2007). این مناطق می‌توانند یک کشور، یک شهر یا یک قطعه زمین در داخل مزرعه باشد. در هر کشور، قوانینی وجود دارند که ورود بذر به داخل آن کشور و تجاری‌سازی داخلی آن را تنظیم می‌کنند. طبق این قوانین، حدود قابل تحمل بذر هر گونه علف هرز و همچنین فهرست بذرهای ممنوعه در هر محصول یا گروه زراعی وجود دارد. در سطح محلی، جلوگیری از ورود و گسترش یک یا چند گونه علف هرز که ممکن است به مشکلات جدی برای منطقه تبدیل شود، بر عهده کشاورزان یا تعاونی‌ها است (Silva *et al*., 2007). اقدامات پیشگیرانه ممکن است شامل بهداشت مزرعه، کاشت بذرهای زراعی گواهی شده، کنترل علف‌های هرز پیشگام و لکه‌های

2- Very low-fluence response (VLFR)

گونه‌های جدید یا علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش، تمیز کردن تجهیزات و استفاده از کود کمپوست شده باشد. بهداشت مزرعه شامل اقداماتی است که از ورود یا انتشار علف‌های هرز در سراسر مزرعه جلوگیری می‌کند. تمیز کردن تجهیزات، به ویژه کمباین‌ها، قبل از حرکت از مزرعه ای به مزرعه دیگر می‌تواند گسترش علف‌های هرز را کاهش دهد. کاشت بذرهای زراعی گواهی شده، گیاهچه‌های زراعی قوی تولید می‌کند و رویش و استقرار گیاه زراعی را بهبود می‌بخشد، که برای افزایش رقابت سو یا در برابر علف‌های هرز و عملکرد کل مهم است. کنترل علف‌های هرز پیشگام در امتداد حاشیه مزرعه، خطوط حصار و گودال‌ها برای جلوگیری از گسترش علف‌های هرز مفید است. لکه‌های علف‌های هرز مهاجم جدید یا علف‌های هرز مقاوم به علف‌کش باید کنترل شوند تا از گسترش آنها جلوگیری شود. کود دامی می‌تواند از طریق افزایش تعداد علف‌های هرز و ورود گونه‌های جدید علف هرز به یک مزرعه مشکل ساز شود، به خصوص اگر خوراک دام از منطقه دیگری وارد شده باشد. بنابراین، کمپوست کردن کود دامی حداقل به مدت یک سال قبل از پخش در مزرعه باعث کاهش زنده‌مانی بذر علف‌های هرز می‌شود. به طور کلی، روش‌های پیشگیرانه کنترل علف‌های هرز معمولا کم هزینه هستند اما به طور معمول نادیده گرفته می‌شوند (Radosevich *et al*., 2007; Chauhan *et al*., 2012).

*کنترل مکانیکی علف‌های هرز:

کنترل مکانیکی علف‌های هرز ممکن است شامل وجین کل محصول باشد یا ممکن است به وجین انتخابی بین ردیفی از طریق استفاده از وسایلی که برای کنترل علف‌های هرز در درون ردیف محصول طراحی شده‌اند با هدایت خاک در امتداد ردیف گیاه زراعی برای پوشاندن علف‌های هرز کوچک محدود شود (Klooster, 1982). انواع قابل‌توجهی از وجین‌کن‌های مکانیکی از ابزارهای دستی اولیه گرفته تا دستگاه‌های پیشرفته تراکتوری از جمله ابزارهای کشت (مانند کج بیل‌ها، چنگک‌ها، دندانه‌ها و وجین‌کن‌های برسی)، ابزارهای برش (دروگرها و چمن‌زن دستی دوار) و وسایل دو منظوره مانند Thistle-bars (این وسیله مشتمل بر تیغه‌هایی است که با کشیده شدن از میان خاک با حداقل برهم زدن آن سبب قطع علف‌های هرز چندساله می‌شوند) وجود دارند که به عنوان ابزار کشت یا به عنوان ابزار برش عمل می‌کنند (Bond & Grundy, 2001).

کندن یا وجین علف های هرز، قدیمی‌ترین روش کنترل علف‌های هرز است. این روش هنوز هم برای مبارزه با علف‌های هرز در باغچه‌های منازل و در حذف علف‌های هرز بین ردیف‌های گیاهان زراعی استفاده می‌شود که روش اصلی کنترل، استفاده از بیل است (Silva *et al*., 2007).

وجین دستی با بیل بسیار مؤثر است و هنوز هم در کشاورزی بسیار زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد، مخصوصا در مناطق کوهستانی که کشاورزی معیشتی وجود دارد و برای بسیاری از خانواده ها کشاورزی تنها منبع درآمد است. با این حال، در کشاورزی فشرده‌تر در مناطق وسیع‌تر، هزینه بالای نیروی انسانی و مشکل یافتن کارگران در مواقع ضروری و به مقدار مطلوب، این روش را تنها مکمل روش‌های دیگر می‌کند و باید زمانی انجام شود که علف‌های هرز هنوز جوان هستند و خاک خیلی مرطوب نیست. این روش می‌تواند در مزارع تولید بذر اهمیت زیادی پیدا کند و به عنوان مکمل برای سایر روش‌های کنترل باشد (Gazziero *et al*., 2003).

خاک‌ورزی مکانیزه، که توسط کولتیواتورهایی که از طریق تراکتورها کشیده می‌شوند، به طور گسترده‌ای در کشاورزی پذیرفته شده است و یکی از روش‌های اصلی کنترل علف‌های هرز است (Silva *et al*., 2007). از محدودیت‌های اصلی این روش می‌توان به سختی کنترل علف‌های هرز در ردیف‌های گیاه زراعی، راندمان پایین در شرایط مرطوب (خاک مرطوب) و همچنین ناکارآمدی کنترل علف‌های هرزی که توسط بخش‌های رویشی تولید مثل می‌کنند، اشاره کرد. با این حال، تمام گونه‌های یک ساله، زمانی که جوان هستند (برگ‌های دو تا چهار برگچه ای)، به راحتی در شرایط گرما و خاک خشک کنترل می‌شوند. خاک‌ورزی ارتباط بین ریشه و خاک را قطع می‌کند، جذب آب را به حالت تعلیق در می‌آورد و ریشه‌ها را در معرض شرایط نامطلوب محیطی قرار می‌دهد. بسته به اندازه نسبی علف‌های هرز و گیاهان زراعی، جابجایی خاک روی ردیف با استفاده از کولتیواتورهای مخصوص می‌تواند باعث دفن گیاهچه‌ها و در نتیجه کنترل علف‌های هرز حتی در ردیف‌های گیاه زراعی شود (Silva *et al*., 2007).

*کنترل زراعی علف‌های هرز:

شیوه‌های زراعی مانند میزان بذرپاشی، فاصله ردیف، ارقام رقابتی، مدیریت کوددهی می‌توانند به طور قابل توجهی بر کنترل علف‌های هرز تاثیر بگذارند (Anderson, 1996; Grichar *et al*., 2004; O'Donovan *et al*., 2001; Korres, 2017). تکامل بسیاری از گونه‌های علف‌های هرز با مقاومت در برابر چندین محل عمل، تولیدکنندگان را ملزم می‌کند تا سیستم‌های تولید خود را متنوع کرده و روش‌های کنترل زراعی و شیمیایی را تلفیق کنند (Bradley, 2013; Heap, 2021; Norsworthy *et al*., 2012; Schultz *et al*., 2015).

- محصولات پوششی:

محصولات پوششی، محصولاتی هستند که در بین فصول زراعی در سیستم‌های کشاورزی قابل کشت یا بین ردیف‌های میانی درختان باغ رشد می‌کنند و یک ابزار مهم زراعی چند منظوره هستند که با بهبود خواص شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی خاک در سیستم‌های زراعی مختلف، رشد گیاه را افزایش می‌دهند (Alberts & Neibling, 1994; Dabney *et al*., 2001; Korres, 2005; Price & Norsworthy, 2013). علاوه بر این، تلفیق گیاهان پوششی در سیستم‌های زراعی می‌تواند یک استراتژی مدیریتی موثر برای سرکوب علف‌های هرز (Liebl *et al*., 1992; Skroch *et al*., 1992; Chauhan & Abugho, 2013; Korres, 2017) از طریق کاهش زیست توده علف‌های هرز (Norsworthy *et al*., 2016) و در نتیجه کاهش ظرفیت تولیدمثلی علف‌های هرز (Korres & Froud-Williams, 2002) باشد. محصولاتی مانند ماشک مودار (*Vicia villosa* Roth.) یا چاودار زمستانه (*Secale cereal* L.) در صورت مدیریت صحیح می‌توانند پوشش زمینی یکنواخت و متراکم ایجاد کنند، در حالی که محصولاتی مانند ماشک تاجی (*Coronilla varia* L.) می‌تواند مدیریت طولانی مدت خاک را فراهم کند (Korres, 2005). سایر محصولاتی که می‌توانند به عنوان محصولات پوششی استفاده شوند عبارتند از شبدر کریسمون (*Trifolium incarnatum* L.)، شبدر قرمز (*Trifolium pratense* L.) ، شبدر سفید (*Trifolium repens* L.)، نخود (*Pisum* spp.)، جو دوسر (*Avena sativa* L.)، چچم (*Lolium* spp.)، چمن (*Poa* spp.) (Korres, 2005). غلات زمستانه مزایای بسیاری به عنوان محصولات پوششی دارند، زیرا مقادیر زیادی زیست توده تولید می‌کنند، به راحتی مستقر می‌شوند، به راحتی خاتمه می‌یابند و پوشش زمینی عالی را در طول دوره زمستان فراهم می‌کنند (Brown *et al*., 1985; Schomberg *et al*., 2006). به عنوان مثال چاودار زمستانه در نتیجه پوشش متراکم زمین به دلیل مقادیر بالای زیست توده تولید شده، جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز را کاهش داد و رویش گیاهچه علف‌های هرز را به تاخیر انداخت (Schomberg *et al*., 2006). این امر منجر به سرکوب فیزیکی بالای گیاهچه‌های علف‌های هرز و کاهش انتقال نور به سطح خاک می‌شود (Akemo *et al*., 2000, Teasdale & Mohler 1993). محصولات پوششی همچنین می‌توانند نوسانات دمایی را که برخی از علف‌های هرز به عنوان سیگنالی برای جوانه‌زنی در بهار استفاده می‌کنند، مهار کنند (Teasdale & Mohler, 1993)، زیرا مالچ ایجاد شده توسط گیاه پوششی مانع از انتقال نور به سطح خاک و همچنین حفظ رطوبت خاک می‌شود.

گیاهان پوششی مانند چاودار زمستانه ترکیبات آللوپاتیک تولید می‌کنند، به عنوان مثال ترکیبات بنزوکسازینوئید مانند 2,4-dihydroxy-1,4, (2H) - benzoxazin-3-one و benzoxazolin-2(3H)-one (Barnes & Putnam, 1987; Barnes *et al*., 1987; Chase *et al*., 1991; Schulz *et al*., 2013)، که عمدتا بر جوانه‌زنی و رشد علف‌های هرز بذر ریز تاثیر می‌گذارند (Hartwig & Ammon, 2002; Kruidhof *et al*., 2011).

اثبات شده است در سیستم‌های کشت سویا، استفاده از محصولات پوششی یک رویکرد مدیریتی مفید برای کنترل علف‌های هرز می‌باشد. گیاه پوششی چاودار زمستانه ۹۰ درصد کنترل علف‌های هرز را فراهم کرد در حالی که کاربرد علف‌کش‌ها در سیستم کشت سویا - گیاه پوششی عملکرد گیاه زراعی را به طور قابل توجهی افزایش نداد (Liebl *et al*., 1992). Robinson & Dunham (1954) دریافتند که با استفاده از گندم یا چاودار به عنوان محصول پوششی، عملکرد سویا افزایش یافت و علف‌های هرز سرکوب شدند. در

مقابل یونجه (*Medicago sativa* L.)، ماشک (*Vicia* spp.)، شبدر (*Trifolium* spp.)، و علف تیموتی (*Phleum pretense* L.) کنترل نامطلوب علف‌های هرز را نشان دادند و نخود (*Pisum sativum* L.) باعث استقرار محصول سو یا شد. Norsworthy *et al*. (2016) با بررسی سیستم‌های مدیریتی مختلف برای سرکوب تاج‌خروس (*Amaranthus palmeri* L.) مقاوم به گلایفوسیت دریافتند که گیاه پوششی چاودار زمستانه یکی از مؤثرترین روش‌ها برای سرکوب جمعیت و تولید بذر علف‌های هرز است.

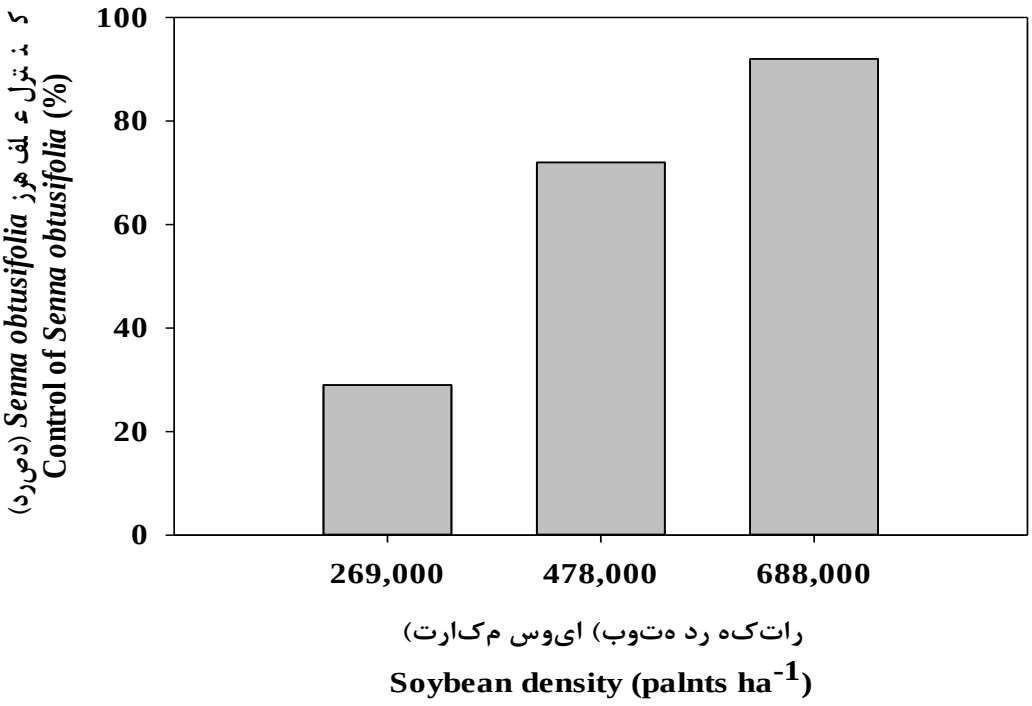
محصولات پوششی زمستانه، به استثنای مزایای بی شمار روی خاک، می‌توانند ابزارهای مفیدی برای سرکوب یا جایگزینی گونه‌های علف‌های هرز یکساله زمستانه باشند (Reddy, 2001). فصل رشد طولانی در منطقه دلتای رودخانه می سی سی پی اجازه استفاده از محصولات پوششی زمستانه را در تولید محصولات ردیفی می‌دهد (Reddy, 2001). بقایای گیاهان پوششی باعث سرکوب علف‌های هرز خاص در اوایل فصل می‌شود، اما کنترل علف‌های هرز را در تمام فصل فراهم نمی‌کند (Koger *et al*., 2002; Reddy, 2001, 2003). بنابراین گیاهان پوششی می‌توانند کاربرد علف‌کش‌های پیش رویشی را حذف کنند و علف‌های هرز اواخر فصل را می‌توان با استفاده از علف‌کش‌های پس رویشی بر اساس نیاز مدیریت کرد. با این حال باید توجه داشت که در سیستم‌های گیاه پوششی، هزینه‌های نهاده اغلب به دلیل هزینه اضافی بذر، کاشت و خشک‌شدن گیاه پوششی بالاتر است. به عنوان مثال هزینه اضافی منجر به بازده خالص کمتر با گیاه پوششی چاودار (۲۹ دلار در هکتار) در مقایسه با سیستم بدون گیاه پوششی (۸۴ دلار در هکتار) شد، اگرچه عملکرد سو یا در سیستم گیاه پوششی چاودار با عملکرد سیستم بدون گیاه پوششی قابل مقایسه بود (Reddy, 2003). با این وجود، تولید سو یا مبتنی بر محصول پوششی چاودار می‌تواند یک سیستم کشاورزی مطلوب برای تولیدکنندگانی باشد که به پوشش زمین در زمین‌های بسیار فرسایش‌پذیر برای جلوگیری از فرسایش خاک، کاهش حرکت مواد مغذی و آفت‌کش‌ها، کاهش فشار انتخاب علف‌کش‌ها و افزایش جذب CO_2 اتمسفر به خاک نیاز دارند.

- مقدار بذرپاشی:

رقابت‌پذیری گیاه زراعی در برابر علف‌های هرز را می‌توان با افزایش تراکم گیاه زراعی (یک روش زراعی که به راحتی قابل دستکاری است) تقویت کرد (Buehring *et al*., 2002; Korres & Froud-Williams, 2002). بسته شدن تاج پوشش در تراکم‌های بالای گیاه زراعی تسریع می‌شود و باعث کاهش میزان نور منتقل شده به سطح خاک و همچنین علف‌های هرز در حال رشد در زیر تاج پوشش گیاه زراعی می‌شود (Korres & Norsworthy, 2017). این امر منجر به کاهش جمعیت علف‌های هرز، زیست توده و تولید بذر کمتر علف‌های هرز می‌شود (Korres & Norsworthy, 2017). همچنین Harder *et al*. (2007) گزارش کردند که افزایش تراکم سو یا از ۱۲۴ هزار تا ۱۹۸ هزار بوته در هکتار هیچ تفاوت معنی‌داری بر روی زیست توده علف‌های هرز در ردیف‌هایی با عرض‌های مختلف نشان نداد. از طرف دیگر در این آزمایش افزایش تراکم سو یا از ۳۰۰ هزار تا ۴۴۵ هزار بوته در هکتار، به طور قابل توجهی برای زیست توده علف‌های هرز به ویژه در ردیف‌هایی با عرض‌های باریک سرکوب کننده بودند. Norsworthy & Korres (2015b) نشان دادند که افزایش میزان بذرپاشی سو یا از ۱۲۵هزار به ۴۰۰ هزار بذر در هکتار منجر به کاهش زیست توده و تولید بذر تاج‌خروس (*Amaranthus palmeri* L.) به ترتیب به میزان ۳ و ۱۰ برابر در مقایسه با این موارد که در غیاب رقابت گیاه زراعی مشاهده شده بود، گردید.

Buehring *et al*. (2002) دریافتند که جمعیت حدود ۶۹۰ هزار بوته در هکتار سو یا منجر به کنترل ۹۲ درصدی *Senna obtusifolia* در مقایسه با کنترل ۲۹ درصدی زمانی که گیاه زراعی در تراکم ۲۷۰ هزار بوته در هکتار استقرار یافت، شد (شکل ۱). Norsworthy & Oliver (2002) کاهش بیشتری از زیست توده *Sesbania exaltata* را با جمعیت ۵۲۰ هزار بوته در هکتار سو یا در مقایسه با جمعیت‌های ۲۱۷ و ۳۷۰ هزار بوته در هکتار مشاهده کردند. با این وجود اثرات جبرانی در ترکیب با شرایط محیطی (Benbella & Paulsen, 1998) طیف وسیعی از پاسخ‌های عملکرد گیاه زراعی را به دستکاری تراکم گیاه زراعی تحمیل می‌کند. Norsworthy &

Oliver (2001) با بررسی اثرات سه مقدار بذرپاشی سویا (یعنی ۱۲۵، ۲۵۰ و ۴۰۰ هزار بذر در هکتار) دریافتند هیچ افزایش قابل‌توجه عملکردی بین مقادیر بذرپاشی ۲۵۰ و ۴۰۰ هزار بذر در هکتار سویا وجود نداشت. Norsworthy & Oliver (2001) بیان کردند که هزینه بذر مرتبط با مقادیر بذرپاشی بالا (به عنوان مثال بیش از ۴۵۰ هزار بوته در هکتار) می‌تواند از مزایای کنترل بالاتر علف‌های هرز فراتر رود.



شکل ۱- درصد کنترل علف هرز *Senna obtusifolia* در تراکم های مختلف سویا (Buehring *et al*., 2002).

Figure 1. Percentage of Senna obtusifolia weed control in different soybean densities (Buehring *et al*., 2002).

- فاصله ردیف ها:

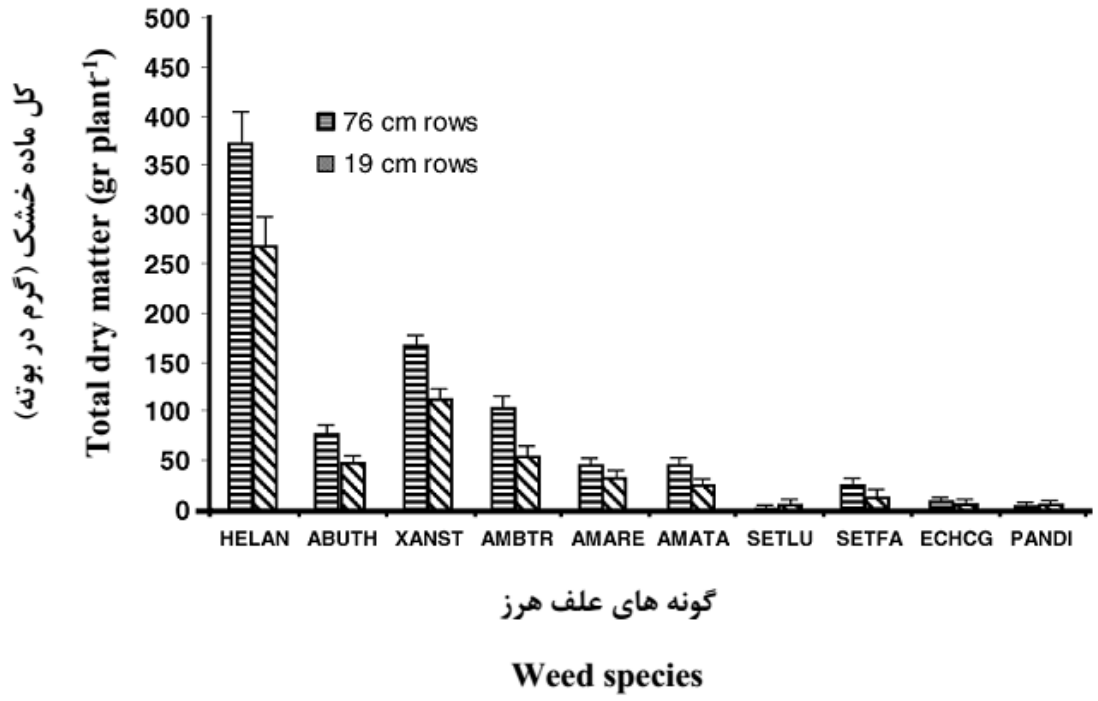
اتخاذ فاصله ردیف‌های باریک (به عنوان مثال ۱۹ یا ۳۸ سانتی‌متر در مقابل ۷۶ یا ۹۲ سانتی‌متر) اساساً ناشی از پتانسیل عملکردهای بالاتر در سیستم‌های تولید با ردیف‌های باریک در مقایسه با سیستم‌های تولید با ردیف‌های پهن بوده است (Bradley, 2006). علاوه بر این فاصله ردیف‌های باریک می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر جمعیت علف‌های هرز داشته باشد و کارایی سیستم‌های مدیریت علف‌های هرز را افزایش دهد. این امر به دلیل تسخیر فضا در اوایل فصل در درون و بین ردیف‌ها است (Harder *et al*., 2007)، بنابراین تاج پوشش در مقایسه با سویای کشت شده در ردیف‌های پهن، سریع‌تر بسته می‌شود که منجر به کاهش مقدار نور رسیده به سطح خاک می‌شود (Puricelli *et al*., 2003; Steckel & Sprague, 2004). در این رابطه Hock *et al*. (2006) دریافتند که کل ماده خشک تولید شده گونه‌های مختلف علف‌های هرز در ردیف‌های ۱۹ سانتی‌متری سویا نسبت به ردیف‌های ۷۶ سانتی‌متری کاهش یافت (شکل ۲).

کاهش در نفوذ نور و زمان بسته شدن تاج پوشش تاثیر عمیقی بر احتمال رویش علف‌های هرز در اواخر فصل رشد دارد (Yelverton & Coble, 1991). علاوه بر این دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز در سویا می‌تواند تحت تاثیر فاصله ردیف‌های باریک قرار گیرد.

دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز بازه زمانی در رشد یک گیاه زراعی است که در طی آن کنترل علف‌های هرز به منظور جلوگیری از تلفات غیرقابل قبول عملکرد ضروری است (Knezevic *et al*., 2002). این امر نشان‌دهنده اهمیت دستکاری فاصله ردیف‌های سو یا است، زیرا کاشت در ردیف‌های پهن نیاز به اجرای روش‌های حذف علف‌های هرز بسیار زودتر نسبت به ردیف‌های باریک خواهد داشت. فاصله ردیف‌های باریک نیز می‌تواند با تغییر نور قرمز به قرمز دور (R:FR) که به سطح خاک می‌رسد، بر کیفیت نور تاثیر بگذارد. همانطور که توسط Graming & Stoltenberg (2009) گزارش شد، سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) به تغییرات کیفیت نور از طریق طویل شدن ساقه اصلی، کاهش سطح برگ و کاهش تولید بذر پاسخ داد.

Korres & Norsworthy (2015b) گزارش کردند که فاصله بین ردیف در سو یا با ردیف‌های پهن بر ارتفاع، وزن خشک و در نتیجه تولید بذر تاج‌خروس (*Amaranthus palmeri* L.) تاثیر گذاشت. در این آزمایش هر چه فاصله از گیاه زراعی بیشتر شد، اثرات رقابتی روی تاج‌خروس کمتر گردید، که منجر به زیست توده بالاتر تاج‌خروس و تولید بذر بعدی شد که نشان‌دهنده اهمیت دستکاری فاصله ردیف برای کنترل این علف هرز است. Harder *et al*. (2007) کاهش تراکم و تولید زیست توده علف‌های هرز را به دنبال کاربرد موثر علف‌کش پس‌رویشی در ردیف‌های ۱۹ سانتی‌متری سو یا نسبت به ردیف‌های ۷۶ سانتی‌متری گزارش کردند.

Buehring *et al*. (2002) ۲۹ درصد کنترل بالاتر *Senna obtusifolia* را در ردیف‌های ۱۹ سانتی‌متری سو یا در مقایسه با ردیف‌های ۷۶ سانتی‌متری مشاهده کردند. در حالی که Steckel & Sprague (2004) کاهش ۵۷ درصدی زیست توده تاج خروس (*Amaranthus tuberculatus* L.) را در ردیف‌های ۱۹ سانتی‌متری در مقایسه با ردیف‌های ۷۶ سانتی‌متری در مرحله رشدی V2 تا V3 سو یا گزارش کردند. با این حال Johnson *et al*. (1998) دریافتند که دم روباهی غول پیکر (*Setaria faberi* L.) توانست چرخه زندگی خود را با موفقیت در سیستم‌های کشت با ردیف‌های باریک کامل کند.



شکل ۲- کل ماده خشک (گرم در گیاه) گونه های علف هرز (کد حرف تایید شده توسط WSSA برای نام علف های هرز) در فاصله ردیف-های مختلف سو یا (Hock *et al*., 2006).

Figure 2. Weed species (WSSA-approved letter code for weed names) total dry matter (gr plant^{-1}) at different soybean row spacing (Hock *et al*., 2006).

- تاریخ کاشت:

تاریخ کاشت می‌تواند نوع و درجه آلودگی علف‌های هرز را همراه با ترکیب فلور علف‌های هرز در طول فصل رشد تحت تاثیر قرار دهد (Khakzad *et al*., 2013). برای مثال Vidotto *et al*. (2016) سطوح آلودگی بالاتر سلمه‌تره و گاوپنبه را در کاشت زود در مقایسه با زمان کاشت متعارف در ذرت مشاهده کردند. آنها همچنین بیان کردند که زمان کاشت زود منجر به فراوانی کمتر قیاق، تاج‌خروس ریشه‌قرمز و خرفه شد. سیستم تولید زودرس سویا[4] (ESPS) که مستلزم کاشت زودهنگام واریته‌هایی با فصل رشد کوتاه است (Heatherly & Spurlock, 1999)، به روش معمول تولید سویا در میانه جنوبی ایالات متحده تبدیل شده است. این ارقام زودرس قبل از برخورد با رطوبت غیر مطلوب خاک وارد مراحل حیاتی تولید مثل شده و این مراحل را به پایان می رسانند، بنابراین امکان افزایش تولید را تقویت می‌کنند. علاوه بر این استفاده از ارقام زودرس کاشته شده در تراکم‌های بالاتر گیاه زراعی، یکی از روش‌های زراعی است که احتمالا می‌تواند رقابت‌پذیری گیاه زراعی را به واسطه بسته شدن زودتر تاج پوشش و در نتیجه رهگیری نور بیشتر (Seversike & Purcell, 2006)، افزایش دهد. با این حال Bennet & Shaw (2000) گزارش کردند که ارقام دیررس سویا هم تولید بذر و هم وزن بذر علف‌های هرز نیلوفرپیچ (*Ipomoea lacunose* L.) و *Sesbania exaltata* را کاهش دادند که احتمالا به دلیل توانایی آنها در حفظ رشد رویشی طولانی‌تر است (Nordby *et al*., 2002). محصولاتی که در زمان مطلوب با رطوبت کافی خاک به ویژه در مناطق گرم و خشک کاشته می‌شوند، نسبت به محصولاتی که در شرایط کمتر از حد مطلوب کاشته می‌شوند، همیشه در برابر علف‌های هرز قوی‌تر و سرکوب‌کننده‌تر خواهند بود. اگر به دقت مدیریت نشود، کاشت زودهنگام ممکن است خطر ایجاد خاک‌های خنک و مرطوب، یخبندان و احتمال بیشتری برای بیماری‌های گیاهی و خسارت علف‌کش را به همراه داشته باشد. بوم‌شناسی گونه‌های علف‌های هرز در ارتباط با شدت بالقوه آلودگی به علف‌های هرز ممکن است به‌عنوان راهنمایی برای تعیین مناسب‌ترین زمان برای کاشت استفاده شود، با دانستن اینکه علف‌های هرز زود رویش معمولا بیشتر از علف‌های هرز دیر رویش با محصولات تداخل پیدا می‌کنند (Korres, 2005).

- استفاده از ارقام رقابتی:

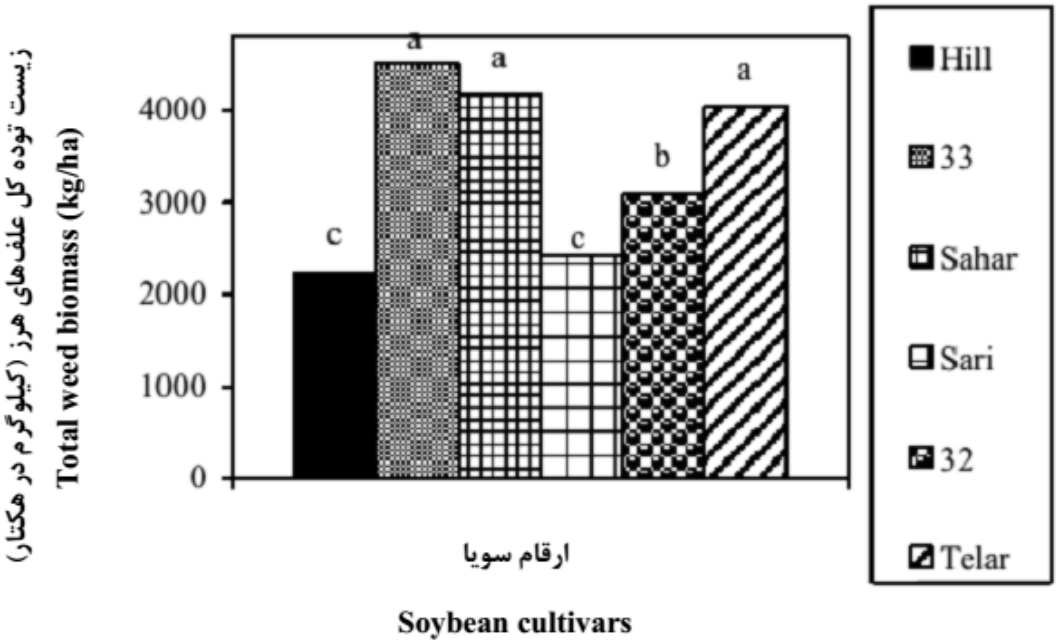
توسعه ارقام زراعی با پتانسیل عملکرد برتر و تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده از دیرباز یک هدف تحقیقاتی محوری برای پرورش‌دهندگان و کشاورزان بوده است (Lemerle *et al*., 2014). ارقام رقابتی دارای ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی متعددی هستند که آنها را قادر می‌سازد تا آب و مواد مغذی را به طور موثر جذب کرده و به شدت رشد کنند تا بتوانند گونه‌های علف هرز را سرکوب سازند (Lemerle *et al*., 1996). در این ارتباط Rezvani *et al*. (2013) دریافتند که رقم Hill نسبت به سایر ارقام مورد مطالعه توانست زیست توده علف‌های هرز را کاهش دهد (شکل ۳). همچنین Valiolahpor *et al*. (2011) نشان دادند که رقم JK در مقایسه با سایر ارقام مورد آزمایش، زیست توده علف‌های هرز باریک برگ را کاهش داد (جدول ۱).

واکنش یک گیاه زراعی به رقابت علف‌های هرز را می‌توان به عنوان: الف) توانایی گیاه زراعی به تحمل رقابت علف‌های هرز (توانایی گیاه زراعی برای حفظ عملکرد بالا تحت شرایط پر از علف هرز)، یا ب) توانایی گیاه زراعی برای سرکوب رشد علف‌های هرز (معمولا از طریق مقایسه ویژگی‌های بیولوژیکی مختلف در مخلوط‌ها با ویژگی‌های موجود در توده‌های خالص تعیین می‌شود)، در نظر گرفت (Callaway, 1992; Korres & Froud-Williams, 2004; Andrews *et al*., 2015).

تحمل گیاه زراعی به رقابت علف‌های هرز به طور گسترده‌ای در سرتاسر فصل‌ها و مکان‌ها متغیر است (Cousens & Mokhtari, 1998; Olesen *et al*., 2004). توسعه ارقام زراعی با توانایی افزایش یافته برای سرکوب علف‌های هرز، کمکی پایدار در جهت بهبود

[4] Early soybean production system (ESPS)

مدیریت علف‌های هرز از جمله سیستم‌های کشت سویا خواهد بود (Bennet & Shaw, 2000; Vollmann *et al*., 2010). علی‌رغم مزایای احتمالی، انتخاب محصولات رقابتی به میزان محدودی به عنوان فرصتی در اواخر فصل برای کنترل علف‌های هرز مورد بررسی قرار گرفته است. ارقام رقابتی سویا در اواخر دهه ۱۹۹۰ مورد مطالعه قرار گرفتند و تعداد کمی از ارقام سویا با ویژگی‌های سرکوب‌کننده علف‌های هرز وجود داشتند. صفاتی که رقابت‌پذیری گیاه زراعی را بیان می‌کنند شامل افزایش سطح برگ، ارتفاع، سرعت گسترش سطح برگ و تاج پوشش گیاهی هستند (Pester *et al*., 1999; Bussan *et al*., 1997). این صفات عمدتا با دستکاری رهگیری نور توسط تاج پوشش گیاهی در طول فصل رشد همراه بودند. در این رابطه Valiolahpor *et al*. (2011) دریافتند که رقم ۰۳۲ نسبت به سایر ارقام مورد مطالعه به دلیل ارتفاع بالاتر و در نتیجه سطح برگ بیشتر، تراکم گونه های علف های هرز باریک برگ و کل علف های هرز را کاهش داد (جدول ۱). علاوه بر این بلوغ (رسیدگی) رقم نیز به عنوان یک ویژگی بالقوه که می‌تواند برتری رقابتی در سویا را افزایش دهد، مورد مطالعه قرار گرفته است. با این وجود هنوز مشخص نیست که آیا ارقام سویای زودرس یا دیررس رقابتی‌تر از علف‌های هرز هستند یا خیر (Yelverton & Coble, 1991; Vollmann *et al*., 2010; Nordby *et al*., 2002).



شکل ۳- میانگین زیست کل توده علف های هرز برای ارقام سویای مورد آزمایش (Rezvani *et al*., 2013).

Figure 3. Means of total weed biomass for the soybean cultivars tested (Rezvani *et al*., 2013).

جدول ۱- مقایسه میانگین تراکم و زیست توده علف های هرز باریک برگ (Valiolahpor *et al*., 2011).

Table 1. Comparison of mean density and biomass of narrow-leaved weeds (Valiolahpor *et al*., 2011).

Soybean cultivars	Grass weeds density (plants m^{-2})	Total weed density (plants m^{-2})	Grass weed biomass (gr m^{-2})
BP	16.94 ab	56.88 ab	15.63 ab
JK	17.26 ab	55.94 ab	15.35 b
032	18.82 a	57.45 a	19.00 a
033	16.02 b	53.74 b	17.16 ab
Sahar	17.19 ab	57.13 a	16.33 ab

- تناوب گیاه زراعی:

کشت مداوم یک محصول منفرد یا محصولاتی که دارای شیوه‌های مدیریتی مشابهی هستند، به گونه‌های علف هرز اجازه می‌دهد تا در سیستم کشت غالب شوند و با گذشت زمان، کنترل این گونه‌های علف هرز دشوار می‌شود (Chauhan *et al*., 2012). یکی از شیوه‌های اصلی زراعی، تناوب گیاه زراعی است که مزایای آن به انتخاب محصولات زراعی و ترتیب آنها در سیستم تناوب بستگی دارد. به عنوان مثال اگر هدف اصلی، کنترل علف‌های هرز از طریق تناوب گیاه زراعی باشد، انتخاب محصول تناوبی باید بر اساس محصولاتی با عادات رشد و نیازهای زراعی متفاوت باشد (Korres, 2005, 2017).

تناوب گیاه زراعی، چرخه زندگی علف‌های هرز را با جلوگیری از استقرار یافتن و غالب شدن آنها مختل می‌کند (Silva *et al*., 2013). اگر تکنیک‌های زراعی یکنواخت به ترتیب برای دوره‌های زمانی طولانی در یک مزرعه استفاده شوند، تداخل فلور علف‌های هرز مستقر شده با گیاه زراعی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد (Silva *et al*., 2013). به گزارش Kelley *et al*. (2003) تولید سویا با استفاده از تناوب گیاه زراعی به عنوان یک روش مدیریتی بهبود یافت. مطالعات دیگر نشان داده‌اند که وقتی سویا به طور مداوم در تک‌کشتی رشد می‌کند نسبت به زمانی که با محصول دیگری در تناوب قرار می‌گیرد، عملکرد آن کاهش می‌یابد (Crookston *et al*., 1991; Meese *et al*., 1991; West *et al*., 1996).

- مدیریت کود:

مدیریت صحیح کود اغلب به عنوان یک روش مدیریتی خوب برای افزایش عملکرد گیاه زراعی و سود خالص در نظر گرفته می‌شود و همچنین نقش حیاتی در مدیریت علف‌های هرز ایفا می‌کند (Blackshaw *et al*., 2008). تحقیقات نشان داده است که علف‌های هرز در جذب مواد مغذی از خاک در شرایط کشت کارآمد هستند و گیاهان زراعی را از مواد مغذی ضروری محروم می‌کنند (Liebman & Dyck, 1993). با این حال تنظیم نوع کود، دز، زمان کاربرد و روش کاربرد به نحوی که بتواند جذب مواد مغذی و کارایی کود محصولات زراعی را افزایش دهد، ممکن است به سرکوب گونه‌های علف هرز کمک کند (Jabran *et al*., 2017). بنابراین، یک مدیریت کود بهبودیافته می‌تواند به طور موثر برای افزایش توانایی رقابتی گیاه زراعی برای سرکوب گونه‌های علف هرز مورد استفاده قرار گیرد. نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K)، در میان سایر مواد مغذی، تأثیرگذارترین درشت مغذی‌ها برای رشد، نمو و استقرار گیاه هستند. به عنوان مثال Korres *et al*. (2017a) اهمیت کل نیتروژن خاک و فسفر قابل استخراج خاک را در ظهور تاج‌خروس (*A. palmeri* L.) در حاشیه مزرعه در منطقه دلتای رودخانه می سی سی پی در شرق آرکانزاس گزارش کردند. رشد علف‌های هرز تحت افزایش مقادیر نیتروژن وابسته به گونه است (Blackshaw *et al*., 2003) و گزارش شده است که گونه‌های تاج‌خروس در محیط‌های غنی شده با نیتروژن رشد می‌کنند (Korres *et al*., 2017a, b). به عنوان مثال تجمع و افزایش نیتروژن در تاج‌خروس ریشه‌قرمز در مقایسه با گیاه زراعی زمانی که در یک محیط غنی شده با نیتروژن رشد می‌کرد، بیشتر بود (جدول ۲) (Teyker *et al*., 1991). اهمیت زمان مصرف کود بر رشد علف‌های هرز توسط Liebman & Davis (2000) با توجه به توانایی علف‌های هرز برای جذب زودتر و سریع‌تر مواد مغذی نسبت به گیاه زراعی مورد بحث قرار گرفته است و پیشنهاد کردند که کوددهی تاخیری احتمالا برای مدیریت علف‌های هرز بذر ریز، به عنوان مثال تاج‌خروس (*A. palmeri L.*) در محصولات بذر درشت، مانند سویا مفید است. بنابراین مدیریت کود، به ویژه برای پتاسیم و فسفر در سویا می‌تواند بر این اساس برنامه‌ریزی شود. متناوبا استفاده از محصولات پوششی غلات زمستانه نیازمند نیتروژن (Dabney *et al*., 2001; Kaspar *et al*., 2008) قبل از کاشت سویا می‌تواند ابزاری ارزشمند در روش‌های کنترل تلفیقی تاج‌خروس (*A. palmeri* L.) باشد.

جدول ۲- محتوای نیتروژن در شاخه های ذرت و تاج خروس ریشه قرمز در سه منبع نیتروژن (Teyker *et al*., 1991).

Table 2- Nitrogen content in shoots of maize and pigweed at three N supplies (Teyker *et al*., 1991).

N supply (mg kg^{-1})	*Zea Mays* L.	*Amaranthus retroflexus* L.
0	13.6	15.6
110	54.0	163.7
220	65.7	172.1
Ratio mean	44.4	117.2

- کشت مخلوط:

کشت مخلوط یکی دیگر از روش‌های مهم زراعی است که برای بهبود کارایی کاربری زمین، سلامت خاک، بهره‌وری سیستم و کنترل علف‌های هرز استفاده می‌شود (Liebman *et al*., 2016). کاشت دو یا چند محصول سازگار با هم نه تنها رقابت گیاه زراعی را برای غلبه بر علف‌های هرز موجود افزایش می‌دهد، بلکه به کاهش آلودگی علف‌های هرز در محصولات بعدی نیز کمک می‌کند (Jabran *et al*., 2017). در یک آزمایش مزرعه ای، رشد یک یا دو ردیف سو یا در کشت مخلوط با ذرت، تعداد و وزن علف های هرز را به میزان قابل توجهی کاهش و عملکرد ذرت را افزایش داد. اگر چه کاشت دو ردیف سو یا در تراکم کاشت ثابت با ذرت نسبت به یک ردیف تأثیر بهتری داشت (Tripathi & Singh, 1983). کشت مخلوط علاوه بر مزایای ذکر شده در بالا دارای برخی از محدودیت‌ها نسبت به تک کشتی می‌باشد (جدول ۳). این معایب عمدتا به دلیل رقابت بین گونه‌ای برای منابع محدود، بیان اثرات آللو پاتیک و مشکل در مدیریت زراعی محصولات در مخلوط است.

جدول ۳- محدودیت سیستم های مختلف کشت مخلوط

Table 3- Limitation of different intercropping systems

سیستم کشت مخلوط Intercropping System	محدودیت ها و نظرات Limitation and Comments	منابع References
کشت مخلوط ردیفی Row intercropping	ترجیحا محصولاتی با عادات رشدی متفاوت برای به دست‌آوردن سطح تکمیلی بالاتر رشد می‌کنند و محصولات در زمان‌های مختلف به بلوغ می‌رسند که برداشت را دشوار می‌کند. اگر محصولات به درستی انتخاب نشوند، رقابت بین گونه‌ای ممکن است عملکرد را محدود کند.	Maitra *et al*., 2020
کشت مخلوط مختلط Mixed intercropping	گیاهان علفی - بقولات رایج‌ترین هستند و عمدتا به عنوان علوفه برداشت می‌شوند که هیچ‌گونه پیچیدگی و محدودیتی ایجاد نمی‌کند. اما اگر محصولات به طور جداگانه برداشت شوند، کار فشرده خواهد بود.	Bybee-Finley & Ryan, 2018
کشت مخلوط کمکی یا تقویتی Relay intercropping	محصولات جانشین ممکن است در مقایسه با محصولات رایج که در کشت متوالی رشد می‌کنند، عملکرد کمتری داشته باشند و میزان بذر بیشتری از محصول کمکی مورد نیاز است.	Tanveer *et al*., 2017
کشت مخلوط نواری Strip intercropping	ترکیبی از محصولات حفاظت‌کننده و تخلیه‌کننده خاک به طور همزمان در نوارهای متناوب رشد می‌کنند. اگر محصولات چندساله به صورت ترکیبی رشد کنند، ممکن است مشکل سایه‌اندازی برای گیاهان یک‌ساله ایجاد شود.	Ryan *et al*., 2011

*کنترل بیولو ژیک:

کنترل بیولوژیک استفاده از دشمنان طبیعی (قارچ‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها، حشرات، پرندگان، ماهی‌ها و غیره) است که قادر به کاهش جمعیت علف‌های هرز و کاهش توانایی آنها برای رقابت است. این امر با تعادل جمعیت بین دشمن طبیعی و گیاه میزبان حفظ می‌شود. همچنین کنترل بیولوژیکی باید به عنوان مهار آللو پاتیک علف‌های هرز در نظر گرفته شود (Silva *et al*., 2007). علف‌کش زیستی به عنوان یک پاتوژن گیاهی که به عنوان عامل کنترل علف‌های هرز از طریق کاربردهای سیل آسا و مکرر ماده تلقیحی آن قابل

استفاده است، تعریف می‌شود (Charudattan & Dinoor, 2000). در ایالات متحده و بسیاری از کشورهای دیگر، استفاده تجو یزی از پاتوژن‌های گیاهی کنترل‌کننده علف‌های هرز به عنوان یک " آفت‌کش مصرفی" در نظر گرفته می‌شود و بنابراین این پاتوژن‌ها باید به عنوان آفت‌کش‌های زیستی توسط سازمان‌های دولتی مناسب ثبت یا تایید شوند. تاکنون یک گونه قارچ به عنوان علف‌کش زیستی در ایالات متحده برای استفاده در سو یا ثبت شده است. Collego®، مبتنی بر *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *aeschynomene*، برای کنترل علف هرز *Aeschynomene virginica* در محصولات سو یا و برنج در آرکانزاس، می سی سی پی، و لوئیزیانا استفاده می‌شود (Charudattan & Dinoor, 2000).

Charudattan & Dinoor (2000) ذکر کرده‌اند در میان محدودیت‌های کنترل زیستی علف‌های هرز توسط پاتوژن‌های گیاهی، مهم‌ترین آنها علاقه تجاری محدود به این رو یکرد برای کنترل علف‌های هرز است، زیرا بازارهای عوامل کنترل زیستی معمولا کوچک، پراکنده و بسیار تخصصی هستند و در نتیجه بازگشت مالی از عوامل کنترل زیستی بسیار ناچیز است که مورد توجه صنایع بزرگ باشد و پیچیدگی‌های تولید، تضمین اثربخشی و عمر مفید ماده تلقیحی می‌تواند توسعه علف‌کش زیستی را متوقف کند. به عنوان مثال، ناتوانی در تولید انبوه ماده تلقیح مورد نیاز برای استفاده در مقیاس وسیع یک محدودیت جدی است که منجر به کنار گذاشتن چندین عامل امید بخش شده است. به طور کلی می‌توان به این نتیجه رسید که پاتوژن‌های گیاهی پتانسیل بسیار زیادی به عنوان عوامل کنترل زیستی علف‌های هرز دارند که تا به حال به آن توجه جدی نشده است. علاوه بر استفاده از پاتوژن‌های گیاهی به‌عنوان عوامل کنترل زیستی، احتمالا در آینده‌ای نزدیک از ژن‌های مشتق شده از پاتوژن‌ها، محصولات ژنی و مکانیسم‌های ژنتیکی (مانند مرگ سلول‌های گیاهی بیش از حد حساس و زیست شیمی علف‌کش‌ها) برای ارائه سیستم‌های مدیریتی جدید علف‌های هرز بهره‌برداری خواهد شد. از سوی دیگر، امروزه اتکای بیش از حد به علف‌کش‌های شیمیایی و تمایل به استناد تصمیمات مدیریتی علف‌های هرز صرفا بر اساس ملاحظات اقتصادی، به بهای حذف منافع اکولوژیکی و اجتماعی، یک محدودیت جدی است که می‌تواند کنترل بیولوژیکی را محدود کند (Charudattan & Dinoor, 2000).

نقش علف‌کش‌ها در مدیریت پایدار علف‌های هرز

کنترل شیمیایی علف‌های هرز کارآمدترین، مقرون به صرفه‌ترین و پذیرفته شده‌ترین روش مدیریت علف‌های هرز است. با این حال، مشکلات فزاینده مقاومت به علف‌کش، آلودگی محیطی، مسائل بهداشتی و کاربرد خارج از هدف باعث می‌شوند این گزینه کمتر مناسب باشد (Liebman *et al*., 2016). اگرچه روش‌های مختلف کنترل غیرشیمیایی علف‌های هرز ذکر شده در بالا برای تولید محصول پایدار مناسب‌تر هستند، علف‌کش‌ها را نمی‌توان به‌دلیل کارایی پایین‌تر روش‌های دیگر به‌طور کامل کنار گذاشت. بنابراین غیر واقعی خواهد بود که بگو ییم علف‌کش‌ها در کشاورزی پایدار در حال حاضر و در آینده نزدیک جایی ندارند. در واقع، علف کش ها برای مدیریت علف های هرز در مقیاس بزرگ به منظور تضمین عملکرد محصول ضروری هستند. این مواد شیمیایی در طول ۴۰ سال گذشته خدمات زیادی به بشریت کرده‌اند، اما اتکا به علف‌کش‌ها منجر به ایجاد مقاومت به علف‌کش‌ها و نگرانی‌های زیست‌محیطی شده است (Westwood *et al*., 2018). به عنوان مثال، استفاده مداوم از علف‌کش‌ها با نحوه عمل یکسان در مدت زمان طولانی، فشار انتخاب و تکامل مقاومت در علف‌های هرز را افزایش داد (Mortensen *et al*., 2012). به طور مشابه، تک‌کشتی استفاده مکرر از علف‌کش‌های یکسان را ترغیب کرد که منجر به عواقب مشابهی شد. استفاده از علف‌کش‌ها به صورت مجزا، بدون تلفیق سایر روش‌های مناسب کنترل علف‌های هرز پایدار نبوده است.

آینده علف‌کش‌ها در استفاده عاقلانه و تلفیقی آنها به منظور حفظ مواد شیمیایی موجود نهفته است (Westwood *et al*., 2018). به عنوان مثال، گلایفوسیت یکی از مواد کشف شده‌ای است که ما در حال از دست دادن این ماده شیمیایی بزرگ به دلیل مقاومت گسترده

در سراسر جهان هستیم (Mortensen *et al*., 2012). با این حال، تلاش‌ها برای به حداقل رساندن و بهینه‌سازی استفاده از گلایفوسیت می‌تواند این علف‌کش را برای کاربردهای هدفمندتر در آینده حفظ کند. کشاورزان باید آموزش دیده و ترغیب شوند تا طبق توصیه‌های محلی از علف‌کش‌ها استفاده کنند و پایداری درازمدت سیستم تولید و حفاظت از محیط زیست را در نظر داشته باشند (Senseman & Grey, 2014). علف‌کش‌ها با نحوه عمل مختلف باید به صورت متناوب در محصولات مشابه استفاده شوند. اتکا فقط به علف‌کش‌ها را باید با گنجاندن روش‌های متنوع کنترل علف‌های هرز در راهبردهای مدیریت تلفیقی علف‌های هرز منتفی ساخت (Mortensen *et al*., 2012; Liebman *et al*., 2016). از سوی دیگر تلاش‌های تحقیقاتی برای کشف مواد شیمیایی جدید با نحوه عمل جدید باید تسریع شود. این راهبردها ممکن است راه‌حلی بادوام برای مشکلات مربوط به علف‌کش‌ها ارائه کنند و علف‌کش‌ها را به عنوان یک روش قابل دوام و کارآمد کنترل علف‌های هرز در کشاورزی پایدار نگه دارند (Westwood *et al*., 2018). تلاش‌های تحقیقاتی نیز باید برای کاهش کاربردهای علف‌کش خارج از هدف و ردپای زیست‌محیطی مواد شیمیایی اختصاص یابند.

نتیجه گیری

چالش پایداری کشاورزی مستلزم حل مبادله بین سطوح تولید رضایت‌بخش محصولات کشاورزی، هم از نظر کمی و هم از نظر کیفی و کاهش اثرات زیست محیطی و حفظ منابع تجدیدناپذیر است. مدیریت علف‌های هرز یک موضوع کلیدی است، زیرا علف‌کش‌ها پرکاربردترین آفت‌کش‌ها در سراسر جهان هستند و اغلب موادی هستند که در آب‌های سطحی و زیرزمینی شناسایی می‌شوند. بنابراین اتخاذ راهکارهای صحیح برای مدیریت علف‌های هرز ضروری است. اقدامات ساده‌ای مانند انتخاب رقم صحیح، اتخاذ شیوه‌های صحیح خاک‌ورزی، استفاده از گیاهان پوششی و تناوب گیاه زراعی باعث کاهش مصرف علف‌کش‌ها و در نتیجه کمک به پایداری محیط زیست می‌شوند.

منابع

Akemo, M. C., Regnier, E. E. & Bennett, M. A. 2000. Weed suppression in spring-sown rye (*Secale cereal*) pea (*Pisum sativum*) cover crop mixes. *Weed Technology*, 14: 545–549.

Alberts, E. E. & Neiblin, W.H. 1994. Influence of crop residues on water erosion. pp. 19–39. In: Unger, P.W. (Ed.) *Managing Agricultural Residues*. Lewis Publishing, Ann Arbor, MI.

Anderson, W. P. 1996. *Weed Science Principles and Applications*. 3rd edition. West Publishing Company, St. Paul, MN. 388 p .

Andrews, I. K. S., Storkey, J. & Sparkes, D. L. 2015. A review of the potential for competitive cereal cultivars as a tool in integrated weed management. *Weed Research*, 55: 239–248.

Anonymous. 2017. Soystats. *A reference guide to important soybean facts and figures*. The American Soybean Association. Available at: www.soystats.com (Accessed in April 2017).

Barnes, J. P., Putman, A. R., Burke, B. A. & Aasen, A. J. 1987. Isolation and characterization of allelochemicals in rye herbage. *Phytochemistry*, 26: 1385–1390.

Barnes, J. P. & Putnam, A. R. 1987. Role of benzoxazinones in allelopathy by rye (*Secale cereale* L.). *Journal of Chemical Ecology*, 13: 889–906.

Benbella, M. & Paulsen, G. M. 1998. Efficacy of treatments for delaying senescence of wheat leaves: II. Senescence and grain yield under field conditions. *Agronomy Journal*, 90: 332–338.

Bennett, A. C. & Shaw, D. R. 2000. Effect of *Glycine max* cultivars and weed control weed seed characteristic. *Weed Science*, 48: 431–435.

Blackshaw, R. E., Brandt, R. N., Jazen, H. H., Entz, T., Grant, C. A. & Derksen, D. A. 2003. Differential response of weed species to added nitrogen. *Weed Science*, 52: 532–539.

Blackshaw, R. E., Harker, K. N., O'donovan, J. T., Beckie, H. J. & Smith, E. G. 2008. Ongoing development of integrated weed management systems on the Canadian prairies. *Weed Science*, 56: 146–150.

Bond, W. & Grundy, A. C. 2001. Non-chemical weed management in organic farming systems. *Weed Research*, 41: 383–405.

Bradley, K. W. 2013. Herbicide-resistance in the Midwest: current status and impacts. *Weed Science Society of America Abstracts*, 53: 271-279.

Bridges, D. C. 1992. *Crop losses due to weeds in the United States* – 1992. WSSA special publication, Champaign, IL.

Brown, S. M., Whitwell, T., Touchton, J. T. & Burmester, C. H. 1985. Conservation tillage systems for cotton production (USA). *Soil Science Society of America Journal*, 49: 1256–1260.

Buehring, N. W., Shaw, D. R. & Nice, G. R. W. 2002. Sicklepod (*Senna obtusifolia*) control and soybean (Glycine max) response to soybean row spacing and population in three weed management systems. *Weed Technology*, 16: 131–141.

Bussan, A. J., Burnside, O. C., Orf J. H. & Puettmann, K. J. 1997. Field evaluation of soybean (Glycine max) genotypes for weed competitiveness. *Weed Science*, 45: 31–37.

Bybee-Finley, K. A. & Ryan, M. R. 2018. Advancing intercropping research and practices in industrialized agricultural landscapes. *Agriculture*, 8: 80-104.

Cahoon, C. W., Flessner, M. L. & Ritter, R. L. 2016. Weed control in field crops. Introduction to weed management. pp. 5–3. In: *Pest management guide, field crops 2016 and 2017*. Virginia Cooperative Extension, Virginia Tech. Available at: https://pubs.ext.vt.edu/456/456–016/456–016.html (Accessed in April 2017).

Callaway, M. B. 1992. A compendium of crop varietal tolerance to weeds. *American Journal of Alternative Agriculture*, 7: 169-180.

Chase, W. R., Nair, M. G. & Putman, A. R. 1991. 2, 2′-oxo-1, 1′-azobenzene-selective toxicity of rye (*Secale cereal* L.) allelochemicals to weed and crop species II. *Journal of Chemical Ecology*, 19: 9–19.

Chauhan, B. S., Singh, R. G. & Mahajan, G. 2012. Ecology and management of weeds under conservation agriculture: A review. *Crop Protection*, 38: 57-65.

Chauhan, B. S. & Abugho, S. B. 2013. Effect of crop residue on seedling emergence and growth of selected weed species in a sprinkler-irrigated zero-till dry-seeded rice system. *Weed Science*, 61: 403-409.

Charudattan, R. & Dinoor, A. 2000. Biological control of weeds using plant pathogens: ac complishments and limitations. *Crop Protection*, 19: 691-695.

Cousens, R. D. & Mokhtari, S. 1998. Seasonal and site variability in the tolerance of wheat cultivars to interference from Lolium rigidum. *Weed Research*, 38: 301–307.

Crookston, R. K., Kurle, J. E., Copeland, P. J., Ford, J. H. & Lueschen, W. E. 1991. Rotational cropping sequence affects yield of corn and soybean. *Agronomy Journal*, 83: 108–113.

Dabney, S. M., Delgado, J. A. & Reeves, D. W. 2001. Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 1221–1250.

Datta, A., Ullah, H. Tursun, N. Pornprom, T. Knezevic, S. Z. & Chauhan, B. S. 2017. Managing weeds using crop competition in soybean (*Glycine max* [L.] Merr.). *Crop Protection*, 95: 60–68.

Gazziero, D. L. P., Prete, C. E. C. & Sumiya, M. 2003. Management of Bidens subalternans Resistant to Acetolactate Synthase Inhibitor Herbicides. *Planta Danihna*, 21: 283-291.

Gramig, G. G. & Stoltenberg, D. E. 2009. Adaptive responses of field grown common lambsquarters (*Chenopodium album*) to variable light quality and quantity environments. *Weed Science*, 57: 271–280.

Grau, R. H. 2005. Globalization and soybean expansion into semiarid ecosystems of Argentina. *Ambio*, 34: 265–266.

Grichar, W. J., Bessler, B. A. & Brewer, K. D. 2004. Effect of row spacing and herbicide dose on weed control and grain sorghum yield. *Crop Protection*, 23: 263–267.

Harder, D. B., Renner, K. A. & Sprague, C. L. 2007. Effect of soybean row width and population on weeds, crop yield and economic return. *Weed Technology*, 21: 744–752.

Hartwig, N. L. & Ammon, H. U. 2002. Cover crops and living mulches. *Weed Science*, 50: 688–699.

Heap, I. 2021. *The International Survey of Herbicide Resistant Weeds*. Available at: http://www.weedscience.org/summary/home.aspx. (Accessed in December 2021).

Heatherly, L. & Spurlock, S. 1999. Yield and economics of traditional and early soybean production system (ESPS) seedings in the mid-southern United States. *Field Crops Research*, 63: 35–45.

Hock, S. M., Knezevic, S. Z., Martin, A. R. & Lindquist, J. L. 2005. Influence of soybean row width and velvetleaf emergence time on velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science*, 53: 160–165.

Hock, S. M., Knezevic, S. Z., Martin, A.R. & Lindquist, J. L. 2006. Soybean row spacing and weed emergence time influence weed competitiveness and competitive indices. *Weed Science*, 54: 38–46.

Jabran, K., Mahmood, K., Melander, B., Bajwa, A. A. & Kudsk, P. 2017. Weed Dynamics and Management in Wheat. *Advances in Agronomy*, 145: 97–166.

Johnson, G. A., Hoverstad, T. R. & Greenwald, R. E. 1998. Integrated weed management using narrow corn row spacing, herbicides, and cultivation. *Agronomy Journal*, 90: 40–46.

Kaspar, T.C., Kladivko, E. J., Singer, J. W., Morse, S. & Mutch, D. R. 2008. *Potential and limitations of cover crops, living mulches, and perennials to reduce nutrient losses to water sources from agricultural fields in the Upper Mississippi River Basin*. Gulf Hypoxia and Local Water Quality Concerns Workshop. St. Joseph, Michigan: ASABE. pp. 127–148.

Kelley, K. W., Long Jr, J. H. & Todd, T. C. 2003. Long-term crop rotations affect soybean yield, seed weight, and soil chemical properties. *Field Crops Research*, 83: 41–50.

Khakzad, R., Valiolahpor, R., Gholipori, A. & Norani, S. E. 2013. Effects of Soybean (*Glycine max* L.) Cultivars Planting Date and Herbicides on Weed Species Density. *Plant Protection Research*, 26: 395-407.

Khakzad, R., Al-e-Ebrahim, M. T., Tobeh, A., Oviesi, M. & Valiolahpor, R. 2017. Predicting emergence of the most important weed species in soybean (*Glycine max* L.) under different management operation. *Plant Protection Research*, 31: 322-336.

Klooster, J. J. 1982. *The role of soil tillage in weed control*. pp. 256–261. In: Proceedings of the 9th Conference of the Soil Tillage Research Organization. Institution of Agricultural Engineering, Wageningen.

Knezevic, S. Z., Evans, S. P. & Mainz, M. 2003. Row spacing influences the critical timing for weed removal in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 17: 666–673.

Koger, C. H., Reddy, K. N. & Shaw, D. R. 2002. Effects of rye cover crop residue and herbicides on weed control in narrow and wide row soybean planting systems. *Weed Biology and Management*, 2: 216-224.

Korres, N. E. 2017. *Agronomic weed control*: *A trustworthy approach for sustainable weed management systems*. pp. 97–114. In: Jabran K. and Chauhan B.S. (Eds.) Non-chemical Weed Control. Pub. Elsevier.

Korres, N. E. & Norsworthy, J. K. 2017. Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) demographic and biological characteristics in wide-row soybean. *Weed Science*, 65: 491–503.

Korres, N. E., Norsworthy, J. K., Brye, K., Skinner Jr, V. & Mauromoustakos, A. 2017a. Relationships between soil properties and the occurrence of the most agronomically important weed species in the field margins of eastern Arkansas – implications for weed management in field margins. *Weed Research*, 57: 159–171.

Korres, N. E., Norsworthy, J. K., Fitz Simons, T., Roberts, T. L. & Oosterhuis, D. M. 2017b. Differential response of Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) gender to abiotic stress. *Weed Science*, 65: 213–227.

Korres, N. E. & Norsworthy, J. K. 2015a. Influence of a rye cover crop on the critical period for weed control in cotton. *Weed Science*, 63: 346–352.

Korres, N. E. & Norsworthy, J. K. 2015b. *Influence of Palmer amaranth density and emergence date on seed production in wide row and drill-seeded soybean*. Proceedings of the Weed Science Society of America Annual Meeting, Lexington, KN.

Korres, N. E., Norsworthy, J. K., Bagavathiannan, M. V. & Mauromoustakos, A. 2015a. Distribution of arable weed populations along Eastern Arkansas Mississippi Delta roadsides: occurrence, distribution, and favoured growth habitats. *Weed Technology*, 29: 587–595.

Korres, N. E., Norsworthy, J. K., Bagavathiannan, M. V. & Mauromoustakos, A. 2015b. Distribution of arable weed populations along Eastern Arkansas Mississippi Delta roadsides: factors affecting weed occurrence. *Weed Technology*, 29: 596–604.

Korres, N. E. 2005. *Encyclopaedic dictionary of weed science*. Theory and digest. Andover, UK: Intercept, Paris: Lavoisier Publishing. pp. 177–178.

Korres, N. E. & Froud-Williams, R. J. 2004. The interrelationships of winter wheat cultivars, crop density and competition of naturally occurring weed flora. *Biological Agriculture and Horticulture*, 22: 1–20.

Korres, N. E. & Froud-Williams, R. J. 2002. Effects of winter wheat cultivars and seed rate on the biological characteristics of naturally occurring weed flora. *Weed Research*, 42: 417–428.

Kruidhof, H. M., Gallandt, E. R., Haramoto, E. R. & Bastiaans, L. 2011. Selective weed suppression by cover crop residues: effects of seed mass and timing of species' sensitivity. *Weed Research*, 51: 177–186.

Lemerle, D., Verbeek, B., Cousens, R. D. & Coombes, N. E. 1996. The potential for selecting wheat varieties strongly competitive against weeds. *Weed Research*, 36: 505–513.

Lemerle, D., Luckett, D. J., Lockley, P., Koetz, E. & Wu, H. 2014. Competitive ability of Australian canola (*Brassica napus*) genotypes for weed management. *Crop and Pasture Science*, 65: 1300–1310.

Liebl, R., Simmons, F. W., Wax, L. M. & Stoller, E. W. 1992. Effects of rye (*Secale cereale*) mulch on weed control and soil moisture in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 6: 838–846.

Liebman, M. & Dyck E. 1993 Crop rotation and intercropping strategies for weed management. Ecol Appl, 3: 92–122.

Liebman, M. & Davis, A. S. 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-externalinput farming systems. *Weed Research*, 40: 27–47.

Liebman, M., Baraibar, B., Buckley, Y., Childs, D., Christensen, S., Cousens, R., Eizenberg, H., Heijting, S., Loddo, D., Merotto, A., Renton, M. & Riemens, M. 2016. Ecologically sustainable weed management: how do we get from proof-of-concept to adoption? *Ecological Applications*, 26: 1352–1369.

Liebman, M., Baraibar, B., Buckley, Y., Childs, D., Christensen, S., Cousens, R., Eizenberg, H., Heijting, S., Loddo, D., Merotto, A., Renton, M. & Riemens, M. 2016. Ecologically sustainable weed management: how do we get from proof-of-concept to adoption? *Ecological Applications*, 26: 1352–1369.

Maitra, S., Shankar, T. & Banerjee, P. 2020. *Potential and advantages of maize-legume intercropping system*. In Maize-Production and Use; Hossain, A., Ed.; Intechopen: London, UK.

Meese, B. G., Carter, P. R., Oplinger, E. S. & Pendleton, J. W. 1991. Corn/soybean rotation effect as influenced by tillage, nitrogen, and hybrid/cultivar. *Journal of Production Agriculture*, 4: 74–80.

Mortensen, D. A., Egan, J. F., Maxwell, B. D., Ryan, M.R. & Smith, R. G. 2012. Navigating a critical juncture for sustainable weed management. *BioScience*, 62:75–84.

Nordby, D. E., Alderks, D. L. & Nafziger, E. D. 2002. Competitiveness with weeds of soybean cultivars with different maturity and canopy width characteristics. *Weed Technology*, 21: 1082–1088.

Norsworthy, J. K., Korres, N. E., Walsh, M. J. & Powles, S. B. 2016. Integrating herbicide programs with harvest weed seed control and other fall management practices for the control of glyphosateresistant Palmer amaranth. *Weed Science*, 64: 540–550.

Norsworthy, J. K. & Oliver, L. R. 2001. Effect of seeding rate of drilled glyphosate-resistant soybean (*Glycine max*) on seed yield and gross profit margin. *Weed Technology*, 15: 284–292.

Norsworthy, J. K. & Oliver, L. R. 2002. Hemp sesbania interference in drill-seeded glyphosate resistant soybean. *Weed Science*, 50: 34–41.

Norsworthy, J. K., Ward, S. M. & Shaw, D. R. 2012. Reducing the Risks of Herbicide Resistance: Best Management Practices and Recommendations. *Weed Science*, (Special Issue) 60: 31–62.

Oerke, E. C. 2006. Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144: 31–43.

O'Donovan, J. T., Harker, K. N., Clayton, G. W., Newman, J. C., Robinson, D. & Hall, L.M. 2001. Barley seeding rate influence the effects of variable herbicide rates on wild oat. *Weed Science*, 49: 746–754.

Olesen, J. E., Hansen, P. K., Berntsen, J. & Christensen, S. 2004. Simulation of above-ground suppression of competing species and competition tolerance in winter wheat varieties. *Field Crops Research*, 89: 263–280.

Pester, T. A., Burnside, O. C. & Orf, J. H. 1999. Increasing crop competitiveness to weeds through crop breeding. *Journal of Crop Production*, 2: 31–58.

Price, A. J. & Norsworthy, J. K. 2013. Cover crops for weed management in southern reduced tillage vegetable cropping systems. *Weed Technology*, 27: 212–217.

Puricelli, E. C., Faccini, D.E., Orioli, G. A. & Sabbatini, M. R. 2003. Spurred anoda (Anoda cristata (competition in narrow- and wide-row soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 17: 446–451.

Radosevich, S., Holt, J. & Ghersa, C. 2007. *Ecology of weeds and invasive plants*: *relationship to agriculture and natural resource management*. New York: Wiley.

Reddy, K. N. 2001. Effects of cereal and legume cover crop residues on weeds, yield, and net return in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 15: 660–668.

Reddy, K. N. 2003. Impact of rye cover crop and herbicides on weeds, yield, and net return in narrowrow transgenic and conventional soybean (*Glycine max*). *Weed Technology*, 17: 28–35.

Rezvani, M., Zaefarian, F. & Jovieni, M. 2013. Weed suppression ability of six soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] varieties under natural weed development conditions. *Acta Agronomica Hungarica*, 61: 43–53.

Robinson, R. G. & Dunham, R. S. 1954. Companion crops for weed control in soybeans. *Agronomy Journal*, 46:278-281.

Ryan, P. R., Tyerman, S. D., Sasaki, T., Furuichi, T., Yamamoto, Y., Zhang, W. H. & Delhaize, E. 2011. The identification of aluminiumresistance genes provides opportunities for enhancing crop production on acid soils. *Journal of Experimental Botany*, 62: 9–20.

Schomberg, H. H., McDaniel, R. G., Mallard, E., Endale, D. M., Fisher, D. S. & Cabrera, M. L. 2006. Conservation tillage and cover crop influences on cotton production on a southeastern US coastal plain soil. *Agronomy Journal*, 98: 1247–1256.

Schultz, J. L., Chatham, L. A., Riggins, C. W., Tranel, P. J. & Bradley, K. W. 2015. Distribution of herbicide resistance and molecular mechanisms conferring resistance in Missouri waterhemp (*Amaranthus rudis* Sauer) populations. *Weed Science*, 63: 336–345.

Schulz, M., Marocco, A., Tabaglio, V., Macias, F. A. & Molinillo, J. M. G. 2013. Benzoxazinoids in rye allelopathy – from discovery to application in sustainable weed control and organic farming. *Journal of Chemical Ecology*, 39: 154–174.

Senseman, S. A. & Grey, T. L. 2014. The future of herbicides and genetic technology: ramifications for environmental stewardship. *Weed Science*, 62: 382–384.

Seversike, T. M. & Purcell, L. C. 2006. Multifoliate soybean: breeding and management strategies for ultra-early production systems in Arkansas. Page 4 in Arkansas Crop Protection Association. Abstracts Research Conference. Vol. 10. Clarion Inn, Fayetteville, Arkansas, November 27–28, 2006.

Silva, A. F., Galon, L. & Aspiazu, I. 2013. *Weed Management in the soybean crop*. pp. 85–112. In:El-Shemy H.A. (Ed.) Soybean-PestResistance. Pub. InTech, Rijeka, Croatia.

Silva, A. A., Ferreira, F. A., Ferreira, L. R. & Santos, J. B. 2007. *Metodos de controle de plantas daninhas*. pp. 64–82. In:Silva, A.A. and Silva, J.F. (Eds.) Topicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa: Universidade Federal de Vicosa.

Skroch, W. A., Powell, M. A., Bilderback, T. E. & Henry, P. H. 1992. Mulches: durability, aesthetic value, weed control and temperature. *Journal of Environmental Horticulture*, 10: 43–45.

Soltani, N., Dille, J. A., Burke, I. C., Everman, W. J., VanGessel, M. J., Davis, V. M. & Sikkema, P. H. 2017. Perspectives on Potential Soybean Yield Losses from Weeds in North America. *Weed Technology*, 31: 148-154.

Steckel, L. E. & Sprague, C. L. 2004. Late-season common waterhemp (*Amaranthus rudis*) interference in narrow- and wide-row soybean. *Weed Technology*, 18: 947–952.

Tanveer, M., Anjum, S. A., Hussain, S., Cerdà, A. & Ashraf, U. 2017. Relay cropping as a sustainable approach: Problems and opportunities for sustainable crop production. *Environmental Science and Pollution Research*, 24: 73-88.

Teasdale, J. R. & Mohler, C. L. 1993. Light transmittance, soil temperature, and soil moisture under residue of hairy vetch and rye. *Agronomy Journal*, 85: 673–680.

Tripathi, B. & Singh, C. M. 1983. Weed and fertility management using maize/soyabean intercropping in the northwestern Himalayas. *Tropical Pest Management*, 29: 267–270.

Teyker, R. H., Hoelzer, H. D. & Liebl, R. A. 1991. Maize and pigweed response to nitrogen supply and form. *Plant and Soil*, 135: 287–292.

Valiolahpor, R., Khakzad, R., Gholipori, A. & Barari, H. 2011. Investigating Effect of Planting Dates on Density and Dry Weight of Weeds and Soybean Cultivars (*Glycine max* L.) Yield. *Plant Protection Research*, 25:92-101.

Vidotto, F., Fogliatto, S., Milan, M. & Ferrero, A. 2016. Weed communities in Italian maize fields as affected by pedo-climatic traits and sowing time. *European Journal of Agronomy*, 74: 38–46.

Vollmann, J., Wagentristl, H. & Hartl, W. 2010. The effects of simulated weed pressure on early maturity soybeans. *European Journal of Agronomy*, 32: 243–248.

Walsh, M. J., Newman, P. & Powles, S. B. 2013. Targeting weed seeds in-crop: a new weed control paradigm for global agriculture. *Weed Technology*, 27: 431–436.

West, T. D., Griffith, D. R., Steinhardt, G. C. Kladivko, E. J. & Parsons, S. D. 1996. Effect of tillage and rotation on agronomic performance of corn and soybean: twenty-year study on dark silty clay loam soil. *Journal of Production Agriculture*, 9: 241–248.

Westwood, J. H., Charudattan, R., Duke, S.O., Fennimore, S. A., Marrone, P., Slaughter, D. C., Swanton, C. & Zollinger, R. 2018. Weed management in 2050: perspectives on the future of weed science. *Weed Science*, 66:275–285.

Yelverton, F. H. & Coble, H. D. 1991. Narrow row spacing and canopy formation reduces weed resurgence in soybeans (*Glycine max*). *Weed Technology*, 5: 169–174.

Zimdahl, R. L. 2004. *Weed-crop Competition*: *A Review*, 2nd ed. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA.

Journal of Novel Researches on Plant Protection
(Islamic Azad University, Shiraz Branch)
2022 – **11** : 21 - 44

A review of sustainable weed management in soybean

(Review Article)

Rahman Khakzad *, Rasoul Loghmanpour Zarini

Department of Agronomy, Agriculture College of Sari, Technical Vocational University, Sari, Mazandaran, Iran

(*) rahman.khakzad@yahoo.com

Abstract

Weed management is an essential element of successful crop production. In recent years, an exponential rise in human population and drastic changes in climate and production techniques have intensified the crop production systems and increased the weed infestations. The evolution of herbicide resistance in a large number of weed species across the world has further aggravated the situation. These circumstances require sustainable weed management tools that can be used effectively to achieve decent crop yields without affecting the environment and ecosystem services negatively. Some of the conventional weed control methods, including the use of preventive measures, tillage and mechanical control, crop competition, soil coverage, crop rotations and crop diversification, are still effective and ecofriendly. No single weed management tactic has proven to be the "magic bullet" for eliminating weed problems, given the nature of weed communities, but a better understanding of the underlying mechanisms that influence the success or failure of weeds in agro-ecosystems will further favor the development and adoption of sustainable weed management systems for agricultural crops. Although the ecologically-based, cultural and physical weed control methods have great potential for sustainable weed management, herbicides cannot be completely left out. In fact, herbicides could be an effective tool in an integrated weed management kit. However, the true integrated weed management strategies must have a balance between chemical and non-chemical options that can be used judiciously in order to achieve a reasonable weed control. Sustainable weed management is an achievable goal provided that efforts are made to diversify the management. In this paper, we will review the most common conventional soybean weed management strategies from a sustainability perspective.

Keywords: Crop competition, Crop production, Herbicide resistance, Mechanical control, Weed control.