Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

The effect of optimizing sowing date and application doses of the herbicide mixture “oxadiazon + clopyralid” on weed control and rapeseed yield

Seyed Mehrdad Hosseinifard[1], Elham Elahifard[2*], Abolfazl Derakhshan[3]

[1] M.Sc. Graduated in Weed Science, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Iran, Email: mehrdadh484@gmail.com

[2] Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Bavi, Mollasani, Iran, Email: e.elahifard@asnrukh.ac.ir

[3] Researcher, Sugarcane and By Products Development Company, Ahvaz, Iran, Email: derakhshan.abo@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2025-02-11
Accepted: 2025-06-22

Keywords:
Development of dose-response models
Herbicide combination
Reduced dose of herbicide
Seed yield
Weed biomass

ABSTRACT

Background and objectives: In Khuzestan, the species diversity of rapeseed weeds varies significantly with changes in environmental conditions at the time of sowing this plant. During the period between the second half of October and the first half of November, when a large portion of the province's rapeseed is cultivated, *Malva* spp. is dominant. If left uncontrolled, it not only causes a decrease in grain yield, but also greatly increases the loss of impurities and moisture in the grain delivered to shopping centers after harvest. Due to the limited herbicide variety for rapeseed and the ineffectiveness of recommended herbicides, the use of herbicides registered for other crops has become inevitable in rapeseed cultivation. Meanwhile, oxadiazon has shown good potential for controlling some damaging weeds such as mallow species. Therefore, in this study, the response of rapeseed yield to the application doses of the herbicide mixture "oxadiazon + clopyralid" at different sowing dates was investigated.

Materials and methods: Experimental treatments including different mixing ratios of "clopyralid + oxadiazon" herbicides including 250 ml ha^{-1} clopyralid + 50 ml ha^{-1} oxadiazon, 500 ml ha^{-1} clopyralid + 100 ml ha^{-1} oxadiazon, 750 ml ha^{-1} clopyralid + 150 ml ha^{-1} oxadiazon, 1 L ha^{-1} clopyralid + 200 ml ha^{-1} oxadiazon, and without the use of herbicides (weedy control). These treatments were evaluated on weed biomass and rapeseed yield on five sowing dates including 20 October, 4 November, 18 November, 2 December and 16 December 2022 growing season. Each sowing date was assumed as a location and the data were analyzed as combinedly.

Results: The results showed that the use of higher doses of "oxadiazon + clopyralid" herbicide mixture and earlier sowing dates led to a decrease in the maximum dry weight of weeds. At earlier sowing dates, lower rates of herbicide combination were effective in reducing weed biomass by 50%. Based on the output of the model, the greatest decrease in seed yield was observed in a range of conditions of lower doses and delayed sowing dates. The application of about 75% of the maximum amount consumed from the herbicide mixture "oxadiazon + clopyralid" on the sowing dates of October 20,

November 4, and November 18, respectively, resulted in yield loss of only about 0.7%, 3.3%, and 8.9%, respectively. Also, the drop in rapeseed yield on the sowing dates of December 2 and December 16 with the same amount of application of "oxadiazon + clopyralid" herbicide mixture reached about 25.6% and 50.3%, respectively. Developed models were able to describe well the responses of weed biomass and rapeseed yield to sowing dates and different herbicide doses. This study showed that the combination of higher doses of "clopyralid + oxadiazon" herbicides with earlier sowing dates effectively reduced weed biomass and increased rapeseed yield.

Conclusion: The reduction of weed biomass in response to the earlier sowing date and the application of the full dose of "oxadiazon + clopyralid" herbicide mixture showed that the competitive ability of weeds in these conditions is much lower than the condition of late sowing date and the use of a reduced dose of herbicide (ratios less than 50% of full dose). In addition, weed biomass decreased at all sowing dates in response to increased herbicide dosage. In other words, weed biomass decreased with early sowing of rapeseed or increasing the dosage of herbicide application. These findings emphasize the necessity of optimizing sowing date and herbicide dose in order to promote sustainable rapeseed production.

Cite this article: Hosseinifard, S.M., Elahifard, E., Derakhshan, A. 2025. The effect of optimizing sowing date and application doses of the herbicide mixture “oxadiazon + clopyralid” on weed control and rapeseed yield. *Crop Production Journal*, 18 (1), 155-176.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/ejcp.2025.23311.2665
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۷۳۹x-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۳-۲۰۰۸
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

تأثیر بهینه‌سازی تاریخ کاشت و دزهای کاربرد اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" بر مهار علف‌های هرز و عملکرد کلزا

سیدمهرداد حسینی‌فرد[۱]، الهام الهی‌فرد[۲]*، ابوالفضل درخشان[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گرایش علوم علف‌های هرز، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملاثانی، ایران، رایانامه: mehrdadh484@gmail.com

[۲]دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، باوی، ملاثانی، ایران، رایانامه: e.elahifard@asnrukh.ac.ir

[۳]محقق، موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، اهواز، ایران، رایانامه: derakhshan.abo@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۴/۲

واژه‌های کلیدی:
اختلاط علف‌کش
توسعه مدل‌های دز-پاسخ
دز کاهش یافته علف‌کش
زیست‌توده علف‌هرز
عملکرد دانه

چکیده

سابقه و هدف: در خوزستان، تنوع گونه‌ای علف‌های هرز کلزا با تغییر در شرایط محیطی در زمان کاشت این گیاه تفاوت چشمگیری می‌یابد. در بازه زمانی بین نیمه دوم مهر تا نیمه اول آبان که بخش بزرگی از کلزای استان کشت و کار می‌شود، علف‌هرز پنیرک (*Malva* spp.) غالب بوده و در صورت عدم کنترل علاوه بر ایجاد افت عملکرد دانه، پس از برداشت نیز افت ناخالصی و رطوبتی دانه تحویلی به مراکز خرید را به میزان زیادی بالا می‌برد. با توجه به محدود بودن سبد علف‌کشی کلزا و عدم کارایی علف‌کش‌های توصیه‌شده، کاربرد علف‌کش‌های ثبت‌شده برای سایر محصولات در زراعت کلزا اجتناب‌ناپذیر شده است. در این میان، علف‌کش اگزادیازون پتانسیل خوبی برای کنترل برخی علف‌های هرز خسارت‌زا مانند پنیرک نشان داده است. بنابراین، در این مطالعه پاسخ عملکرد دانه کلزا به دزهای کاربرد اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون+کلوپیرالید" در تاریخ‌های کاشت مختلف بررسی شد.

مواد و روش‌ها: تیمارهای آزمایشی شامل نسبت‌های مختلف اختلاط دو علف‌کش شامل "۲۵۰ میلی‌لیتر کلوپیرالید در هکتار + ۵۰ میلی‌لیتر اگزادیازون در هکتار"، "۵۰۰ میلی‌لیتر کلوپیرالید در هکتار + ۱۰۰ میلی‌لیتر اگزادیازون در هکتار"، "۷۵۰ میلی‌لیتر کلوپیرالید در هکتار + ۱۵۰ میلی‌لیتر اگزادیازون در هکتار"، "یک لیتر کلوپیرالید در هکتار + ۲۰۰ میلی‌لیتر اگزادیازون در هکتار" و بدون مصرف علف‌کش (شاهد آلوده) بودند. این تیمارها در پنج تاریخ کاشت شامل ۲۰ مهر، ٤ آبان، ۱۸ آبان، ۲ آذر و ١٦ آذر سال زراعی ۱٤۰۱-۱٤۰۲ بر زیست‌توده علف‌های هرز و عملکرد دانه کلزا ارزیابی شد. هر تاریخ کاشت به‌عنوان یک محیط فرض شد و داده‌ها به صورت مرکب تجزیه شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که استفاده از دزهای بالاتر اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" و تاریخ‌های کاشت زودتر منجر به کاهش بیشینه وزن خشک علف‌های هرز شد. در تاریخ‌های

کاشت زودتر، دز کمتر اختلاط علف‌کش برای کاهش ۵۰ درصدی زیست‌توده علف‌های هرز مؤثر بود. بر مبنای خروجی‌های مدل، بیشترین افت عملکرد دانه در دامنه‌ای از شرایط مصرف دزهای کمتر و تاریخ‌های کاشت تاخیری مشاهده شد. کاربرد حدود ۷۵ درصد از حداکثر مقدار مصرف‌شده از اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" در تاریخ‌های کاشت ۲۰ مهر، ٤ آبان و ۱۸ آبان به ترتیب تنها به افت عملکردی در حدود ۷/۰، ۳/۳ و ۸/۹ درصد منتج شد. همچنین، افت عملکرد دانه کلزا در تاریخ‌های کاشت ۲ آذر و ١٦ آذر با همین مقدار از کاربرد اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" به ترتیب به حدود ۲۵/٦ و ۵۰/۳ درصد رسید. مدل‌های توسعه‌یافته به‌خوبی توانستند پاسخ‌های زیست‌توده علف‌های هرز و عملکرد دانه کلزا به تاریخ‌های کاشت و دزهای مختلف علف‌کش را توصیف کنند.

نتیجه‌گیری: این مطالعه نشان داد که ترکیب دزهای بالاتر اختلاط علف‌کشی "کلوپیرالید + اگزادیازون" با تاریخ‌های کاشت زودتر به‌طور مؤثری زیست‌توده علف‌های هرز را کاهش و عملکرد کلزا را افزایش می‌دهد. این یافته‌ها بر ضرورت بهینه‌سازی تاریخ کاشت و دز علف‌کش به‌منظور ترویج تولید پایدار کلزا تأکید دارد.

استناد: حسینی‌فرد، سیدمهرداد؛ الهی‌فرد، الهام؛ درخشان، ابوالفضل. (١٤٠٤). تأثیر بهینه‌سازی تاریخ کاشت و دزهای کاربرد اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" بر مهار علف‌های هرز و عملکرد کلزا. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۱۸ (۱)، ١٧٦-١٥٥.

DOI: 10.22069/ejcp.2025.23311.2665
ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

مهمترین مؤلفه سازگار با تنوع اقلیمی در زراعت، مسأله تاریخ کاشت است که نسبت به سایر مولفه‌های زراعی، بیشترین اثر را بر خصوصیات فنولوژیک و عملکرد گیاهان زراعی می‌گذارد؛ درنتیجه با انتخاب تاریخ کاشت مناسب می‌توان بیشترین تطابق را بین روند رشد گیاه و شرایط اقلیمی ایجاد کرد. بنابراین، جهت دستیابی به بیشترین عملکرد دانه، انتخاب تاریخ کاشت مناسب در کلزا از عوامل بسیار مهم است (۱). دستیابی به تاریخ کاشت مناسب باعث می‌شود که گیاه از آب و عناصر غذایی بیشتری استفاده نماید و فرصت کافی جهت تکمیل کلیه مراحل رشد خود را داشته باشد. در خوزستان، به نظر می‌رسد دلیل اصلی افزایش عملکرد دانه کلزا در تاریخ‌های کاشت زود هنگام، مساعد بودن درجه حرارت هوا می‌باشد که سبب شده تا گیاه، رشد رویشی سریعتر و بیشتری داشته باشد و در نهایت بوته‌های قوی‌تر و با عملکرد دانه بالاتری تولید کند (۱). تاخیر در کاشت کلزا موجب می‌شود تا مراحل حساس گلدهی و پر شدن دانه با خشکی و گرمای آخر فصل برخورد کند و در نتیجه عملکرد دانه و روغن کاهش یابد (۲). همچنین، با تاخیر در کاشت و تسریع گلدهی و کوتاه شدن این دوره، بوته‌های کلزا با سطح برگ کمتری وارد مرحله تشکیل خورجین و پر شدن دانه می‌شوند، در نتیجه، تعداد دانه در خورجین کاهش می‌یابد. محدودیت منبع که در اثر اختلاف بین فتوسنتز برگ و خورجین به وجود می‌آید، باعث از دست رفتن دانه‌های در حال توسعه می‌شود (۳).

شناسایی گونه‌های مختلف علف‌های هرز در سطح مناطق کشت کلزای کشور نشان داده است که بیشترین فراوانی نسبی را خانواده‌های گندمیان، شب‌بو و حبوبات به خود اختصاص داده‌اند (٤). کنترل شیمیایی علف‌های هرز می‌تواند به بهبود عملکرد دانه کمک کند، اما کنترل برخی علف‌های هرز به دلیل هم‌خانواده بودن با کلزا، خواب بذر و مقاومت به علف‌کش‌های رایج در کلزا مقدور نمی‌باشد (۵). علف‌کش‌های اندکی (هشت مورد) برای کنترل علف‌های هرز کلزا در کشور موجود است که از بین آن‌ها کلوپیرالید به‌عنوان تنها علف‌کش پهن‌برگ‌کش و تریفلورالین و "متازاکلر+کوئین‌مراک" به‌عنوان علف‌کش‌های دومنظوره و سایر علف‌کش‌ها متعلق به بازدانده‌های استیل کوآنزیم آ کربوکسیلاز و باریک‌برگ‌کش هستند (٦). در مورد علف‌کش‌های استاندارد کلزا (تریفلورالین و کلوپیرالید) نیز گزارش شده است که به‌تنهایی قادر به کنترل بسیاری از علف‌های هرز به ویژه خردل وحشی (*Sinaps arvensis* L.) و پنیرک (*Malva* spp.) نمی‌باشند (۷). این درحالی است که برخی پژوهش‌ها نشان داده است که استفاده از علف‌کش‌های سایر محصولات از جمله برنج، مانند اگزادیازون و اگزادیارجیل، در زراعت کلزا موثر بوده است (۸). بطوریکه ترکیب کلوپیرالید و اگزادیازون و یا کلوپیرالید و اگزادیارجیل باعث کاهش تراکم و وزن خشک علف‌های هرز کلزا به میزان ۱۰۰ درصد شد (۸). در ضمن، بیشترین عملکرد کلزا (۳۳۷۸ کیلوگرم در هکتار) در تیمارهای حاوی کلوپیرالید (یک لیتر در هکتار) + اگزادیازون (۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار)، و کلوپیرالید (یک لیتر در هکتار) + اگزادیارجیل (۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌لیتر در هکتار) مشاهده شد (۸).

کشاورزان در خوزستان بخوبی درک کرده‌اند که روزهای گرم‌تر پاییز باعث رشد اولیه سریع‌تر بوته‌های کلزا شده و در این شرایط، دوره گلدهی و تشکیل خورجین‌ها طولانی‌تر خواهد شد و در نهایت، قبل از برخورد دوره پر شدن دانه‌ها با روزهای گرم بهاری، کلزا چرخه رشد و نمو خود را تکمیل می‌کند. بر این اساس، کشت کلزا در خوزستان از نیمه دوم مهر آغاز می‌شود و تنها بخش کوچکی از سطح زیر کشت این گیاه مربوط به تاریخ‌های کاشت بعد از آذر

ماه، یعنی پس از برداشت برنج در استان، است. تغییر در تاریخ کاشت و به تبع تغییر شرایط محیطی منجر به تغییر در ترکیب علف‌های هرز و سرعت رشد اولیه بوته‌های کلزا می‌شود که این امر می‌تواند دز کاربرد علف‌کش‌ها برای کنترل علف‌های هرز را تحت تاثیر قرار دهد. لذا پژوهش پیش‌رو به منظور بررسی تاثیر برخی علف‌کش‌های ثبت شده در محصولات دیگر نظیر اگزادیازون (رونستار) بر علف‌های هرز کلزا و تلفیق آن با تاریخ مناسب کاشت جهت حداکثر نمودن قدرت رقابت کلزا با علف‌های هرز، اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور امکان‌سنجی کاربرد علف‌کش اگزادیازون (رونستار) به صورت ترکیب با کلوپیرالید (لونترل) برای کنترل علف‌های هرز پهن‌برگ و بررسی تاثیر این اختلاط بر عملکرد دانه کلزا در تاریخ‌های کاشت مختلف، آزمایشی در پاییز سال زراعی ۱٤۰۲-۱٤۰۱ در مزرعه آزمایشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. هر تاریخ کاشت به‌عنوان یک محیط (مکان) در نظر گرفته شد که در آن بوته‌های کلزا شرایط محیطی متفاوتی را در طی رشد و نمو خود تجربه می‌کردند. از طرفی، تغییر در شرایط محیطی، بویژه کاهش تدریجی دما در طی فصل پاییز، به تغییر در ترکیب رویش علف‌های هرز منتج می‌شد که این امر بررسی پاسخ به اختلاط علف‌کشی را در شرایط محیطی متفاوت و ترکیب گونه‌ای گوناگون میسر می‌کرد. در این آزمایش، اثر دزهای مختلف اختلاط علف‌کشی "کلوپیرالید و اگزادیازون" بر کنترل علف‌های هرز و عملکرد دانه کلزا بررسی شد. تیمارهای آزمایش عبارت بودند از نسبت‌های صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ از اختلاط کلوپیرالید و اگزادیازون، یعنی: ۱) کلوپیرالید ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار+ اگزادیازون ۵۰ میلی‌لیتر در هکتار، ۲) کلوپیرالید ۵۰۰ میلی‌لیتر در هکتار + اگزادیازون ۱۰۰ میلی‌لیتر در هکتار، ۳) کلوپیرالید ۷۵۰ میلی‌لیتر در هکتار + اگزادیازون ۱۵۰ میلی‌لیتر در هکتار، ٤) کلوپیرالید یک لیتر در هکتار + اگزادیازون ۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار و ۵) بدون مصرف علف‌کش (شاهد آلوده). لازم به ذکر است که دزهای توصیه شده و پیشنهادی کلوپیرالید و اگزادیازون به ترتیب یک لیتر و ۲۰۰ میلی‌لیتر در هکتار در نظر گرفته شد. در ضمن، تمام کرت‌های آزمایشی عاری از علف‌های هرز باریک‌برگ حفظ داشته شد. برای این منظور، از علف‌کش هالوکسی‌فپ آر متیل (گالانت سوپر) استفاده شد. آزمایش توصیف‌شده در پنج تاریخ کاشت (۲۰ مهر، ٤ آبان، ۱۸ آبان، ۲ آذر و ۱٦ آذر) انجام شد. در هر کرت آزمایشی، بذرهای کلزا در ۱۰ ردیف به طول ۵ متر با فاصله بین ردیف ۳۰ سانتی‌متر بصورت مسطح کشت شد. تراکم بوته مورد نظر ۸۰ بوته در متر مربع بود که پس از استقرار بوته‌ها تنظیم شد. برای کاشت از کلزای هیبرید هایولا ۵۰ استفاده شد. سوپر فسفات تریپل به مقدار ۱۷۰ کیلوگرم در هکتار و سولفات پتاسیم به مقدار ۸۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان کود پایه در زمان عملیات تهیه بستر مصرف شد. کود اوره نیز به میزان ۳٤۰ کیلوگرم در هکتار به صورت سرک در سه نوبت تا قبل از گلدهی استفاده شد. سمپاشی با استفاده از سمپاش پشتی شارژی مجهز به نازل خطی‌پاش T-get از نوع بادبزنی ۱۱۰۰۳ و پس از کالیبراسیون در مرحله ٦-٤ برگی بوته‌های کلزا انجام شد. بدین منظور از کلوپیرالید (با نام تجاری لونترل SL30% شرکت مهان)، اگزادیازون (با نام تجاری رونستار EC12% شرکت اکسیر کشاورزی یزد) استفاده شد. مقدار عملکرد دانه و بیولوژیک کلزا و وزن خشک علف‌های هرز با برداشت نمونه‌های یک متر مربعی از هر کرت آزمایشی در زمان برداشت کلزا تعیین شد. برای اندازه‌گیری وزن خشک، بوته‌ها به مدت ۹٦

ساعت در آونی با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد نگاه داشته شد.

با در نظر گرفتن هر تاریخ کاشت به‌عنوان یک محیط، کل داده‌های آزمایش به صورت مرکب تجزیه شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از رویه GLM در نرم‌افزار SAS نسخه 9.4 انجام شد. با توجه به کمی بودن سطوح تیمارهای آزمایشی، ابتدا تغییرات وزن خشک علف‌های هرز یا عملکرد دانه کلزا در پاسخ به دز کاربرد اختلاط علف‌کشی رگرسیون شد. سپس، تغییرات پارامترهای تابع اولیه با تغییر در تاریخ کاشت (۱، ۱۵، ۲۹، ۴۳ و ۵۷ روز از اولین تاریخ کاشت) با روابط ریاضی مناسب توصیف و با گنجاندن این روابط بجای پارامترها در تابع اولیه، مدل نهایی توصیف‌کننده پاسخ به هر دو عامل آزمایشی به داده‌های اولیه برازش داده شد. تغییرات وزن خشک علف‌های هرز (W) در مقابل دز اختلاط علف‌کشی (درصد از حداکثر مقدار مصرف‌شده) (dose) برای هر سطح از عامل تاریخ کاشت (t) بطور جداگانه با استفاده از مدل دز-پاسخ لوگ‌لجستیک چهار پارامتری (معادله ۱) توصیف شد. فرمول ریاضی این تابع به صورت زیر است:

معادله (۱)

$$W = c + \frac{d-c}{1+exp\{b(log(dose)-log(ED_{50}))\}}$$

که در این معادله c، d، b و ED_{50} به ترتیب بیانگر حد پایین پاسخ وزن خشک علف‌های به دز اختلاط علف‌کشی (گرم در متر مربع)، حد بالای دز-پاسخ علف‌های هرز به دز اختلاط علف‌کشی (گرم در متر مربع)، شیب نسبی دز-پاسخ علف‌های هرز پیرامون نقطه ED_{50} (گرم در متر مربع بر دز مصرفی بر حسب درصد از حداکثر دز کاربرد اختلاط علف‌کشی) و دز اختلاط علف‌کشی (درصد از حداکثر مقدار مصرف‌شده) که باعث ایجاد ۵۰ درصد پاسخ (کاهش وزن خشک علف‌های هرز) بین حد بالا و پایین منحنی دز-پاسخ می‌شود.

رابطه بین عملکرد دانه کلزا (گرم در متر مربع) (Y) در مقابل دز اختلاط علف‌کشی (درصد از حداکثر مقدار مصرف‌شده) (dose) برای هر تاریخ کاشت (t) بطور جداگانه با استفاده از یک معادله خطی دوتکه‌ای[1] (معادله ۲) توصیف شد:

معادله (۲)

$$Y = \begin{cases} \dfrac{Y_{dose_{(min)}}\left(dose_{(break-po\,int)} - dose\right) + Y_{dose_{(break-point)}}\left(dose - dose_{(min)}\right)}{dose_{(break-po\,int)} - dose_{(min)}} & if \quad dose \le dose_{(break-po\,int)} \\ \dfrac{Y_{dose_{(break-point)}}\left(dose_{(max)} - dose\right) + Y_{dose_{(max)}}\left(dose - dose_{(break-po\,int)}\right)}{dose_{(max)} - dose_{(break-po\,int)}} & if \quad dose > dose_{(break-po\,int)} \end{cases}$$

این معادله شامل چهار پارامتر است و بر مبنای آن مقدار عملکرد دانه در شرایط مصرف کمترین دز از اختلاط علف‌کشی ($Y_{dose_{(min)}}$)، مقدار عملکرد دانه در نقطه شکست[2] منحنی ($Y_{dose_{(break-point)}}$)، مقدار عملکرد دانه در شرایط مصرف بیشترین دز از اختلاط علف‌کشی ($Y_{dose_{(max)}}$) و دز اختلاط علف‌کشی در نقطه شکست منحنی ($dose_{(break-po\,int)}$) برآورد می‌شود. $dose_{(min)}$ و $dose_{(max)}$ نیز ثابت و معادل با صفر و ۱۰۰ درصد از مقدار مصرف‌شده از اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" در نظر گرفته شد. باید توجه داشت که در اینجا نقطه شکست منحنی بیانگر دز مورد نیاز از اختلاط علف‌کشی (درصد از حداکثر مقدار مصرف‌شده) برای دستیابی به بالاترین مقادیر عملکرد دانه در هر تاریخ کاشت است (بخش اول منحنی، خطی افزایشی و بخش دوم آن خطی کاهشی است) و بر این اساس، $Y_{dose_{(break-point)}}$، بیشینه مقدار عملکرد دانه در شرایط مصرف دز بهینه از اختلاط علف‌کشی را نشان می‌دهد. برای تجزیه رگرسیون از نرم‌افزار SigmaPlot نسخه ۱۵ استفاده شد. برای انتخاب مدل از معیار AIC_c (شاخص آکائیک تصحیح‌شده) و برای مقایسه نکویی برازش دو مدل از معیار RRMSE (ریشه نسبی میانگین مربعات خطا) استفاده شد.

1. Two-segmented linear
2. Break-point

نتایج و بحث

اثر متقابل تاریخ کاشت (محیط) × دز مصرف اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" به‌طور معنی‌داری وزن خشک علف‌های هرز در زمان برداشت، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک کلزا را تحت تاثیر قرار داد، اما تنها اثر ساده دو عامل مورد بررسی در آزمایش بر شاخص برداشت دانه کلزا معنی‌دار بود (جدول تجزیه واریانس نشان داده نشده است).

تغییرات وزن خشک علف‌های هرز با مدل دز-پاسخ لوگ-لجستیک: برازش معادله دز-پاسخ لوگ-لجستیک به داده‌های وزن خشک علف‌های هرز در مقابل دز اختلاط علف‌کشی (درصد از حداکثر مقدار مصرف‌شده) در تاریخ‌های کاشت مختلف در شکل ۱ نشان داده شده و خروجی‌های این برازش در جدول ۱ خلاصه شده است. برآورد حد پایین پاسخ (c) برای سه تاریخ کاشت ۲۰ مهر، ٤ آبان و ۱۸ آبان معنی‌دار نشد؛ بر این اساس، این پارامتر برای داده‌های مربوط به این سه تاریخ کاشت معادل صفر در نظر گرفته شد. مقایسه پارامترهای مدل دز-پاسخ با تعیین حدود اطمینان ۹۵ درصد نشان داد که تاریخ کاشت اثر معنی‌داری بر مقدار b نداشت (جدول ۱). مقدار b در تاریخ‌های کاشت مختلف بین ۲/۰۹ و ۳/۵۹ گرم در متر مربع بر دز مصرف‌شده (با میانگین ۲/۸۸ و دامنه ۱/۵۰) برآورد شد. سه پارامتر دیگر مدل دز-پاسخ با تغییر تاریخ کاشت بطور معنی‌داری تغییر کرد (جدول ۱). بر این اساس، تغییر سه پارامتر d، b و ED_{50} با تاریخ کاشت (۱، ۱۵، ۲۹، ٤۳ و ۵۷ روز از ۲۰ مهر) با برقراری رابطه رگرسیونی مناسب توصیف شد و b خود به‌عنوان یک پارامتر در معادله ترکیبی گنجانده و مقدار آن برای ترکیبی از تمام سطوح تاریخ کاشت و دز مصرف اختلاط علف‌کشی برآورد شد. تغییر در مقدار هر یک از سه پارامتر c، d و ED_{50} در پاسخ به تغییر در تاریخ کاشت بخوبی با استفاده از مدل خطی شکسته[1] (معادله‌های ۳، ٤ و ۵) قابل‌توصیف بود:

معادله (۳)
$$c=\begin{cases}c_0+\alpha t_{0(c)} & if \quad t<t_{0(c)}\\ c_0+\alpha t & if \quad t\geq t_{0(c)}\end{cases}$$

که c_0، عرض از مبدا (محل برخورد منحنی با محور y)؛ α، شیب بخش دوم منحنی خطی شکسته و $t_{0(c)}$، زمان شروع افزایش خطی پارامتر c با تاخیر در کاشت (t، زمان بر حسب روز از ۲۰ مهر) است.

معادله (٤)
$$d=\begin{cases}d_0+\beta t_{0(d)} & if \quad t<t_{0(d)}\\ d_0+\beta t & if \quad t\geq t_{0(d)}\end{cases}$$

که d_0، عرض از مبدا (محل برخورد منحنی با محور y)؛ β، شیب بخش دوم منحنی خطی شکسته و $t_{0(d)}$، زمان شروع افزایش خطی پارامتر d با تاخیر در کاشت (t، زمان بر حسب روز از ۲۰ مهر) است.

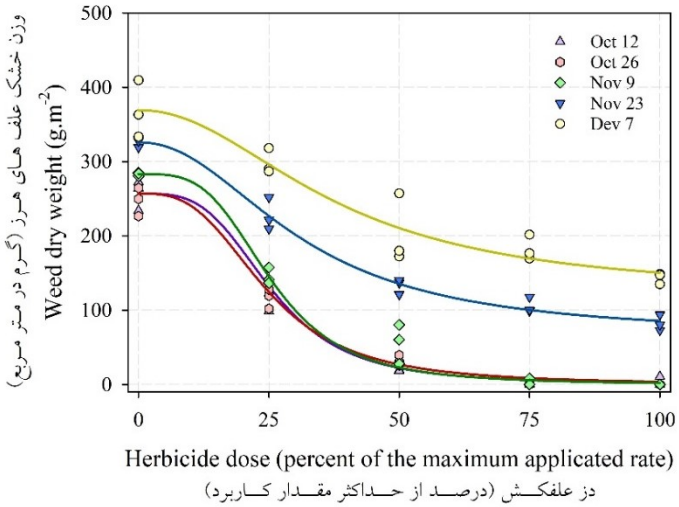
معادله (۵)
$$ED_{50}=\begin{cases}ED_{50(0)}+\lambda t_{0(ED_{50})} & if \quad t<t_{0(ED_{50})}\\ ED_{50(0)}+\lambda t & if \quad t\geq t_{0(ED_{50})}\end{cases}$$

که $ED_{50(0)}$، عرض از مبدا (محل برخورد منحنی با محور y)؛ λ شیب بخش دوم منحنی خطی شکسته و $t_{0(ED_{50})}$، زمان شروع افزایش خطی ED_{50} با تاخیر در کاشت (t، زمان بر حسب روز از ۲۰ مهر) است.

برازش مدل خطی شکسته به مقادیر پارامترهای c، d و ED_{50} در مقابل تاریخ کاشت در شکل (۲) نشان داده شده است. مقادیر RMSE (ریشه میانگین مربعات خطا) و RRMSE (ریشه نسبی میانگین مربعات خطا) بدست‌آمده از این برازش‌ها برای سه پارامتر مذکور به ترتیب ٤/۱٤ گرم در متر مربع و ۱۱ درصد، ۰/۳۱ گرم در متر مربع و ۰/۱ درصد و ۰/۷۳ درصد و ۲/۵ درصد بود که حاکی از آن است که مدل انتخاب‌شده بخوبی و با خطای کم توانسته است تغییرات سه پارامتر با زمان را توجیه کند. بر مبنای نتایج بدست آمده، پارامتر c تا حدود ۲۹ روز از اولین تاریخ کاشت مورد ارزیابی (۲۰ مهر) ثابت بود (معادل صفر) و پس از آن به ازای هر روز تاخیر در کاشت با

1. Broken linear equation

شیب مثبت ٤/٣٤ گرم در متر مربع در روز افزایش یافت. پارامترهای d و ED_{50} نیز به ترتیب تا حدود ٢١ و ٢٨ روز از اولین تاریخ کاشت ثابت بود و پس از آن به ازای هر روز تاخیر در کاشت به ترتیب معادل ٣/٠٧ گرم در متر مربع در روز و ٠/٤٥ درصد در روز افزایش نشان داد.



شکل ١- برازش معادله دز-پاسخ لوگ-لجستیک به داده‌های وزن خشک علف‌های هرز در مقابل دز اختلاط علف‌کشی (درصد از حداکثر مقدار مصرف شده) در هر تاریخ کاشت

Figure 1. Fitting a log-logistic dose-response equation to weed dry weight data versus herbicide mixing dose (percentage of maximum amount applied) at each sowing date.

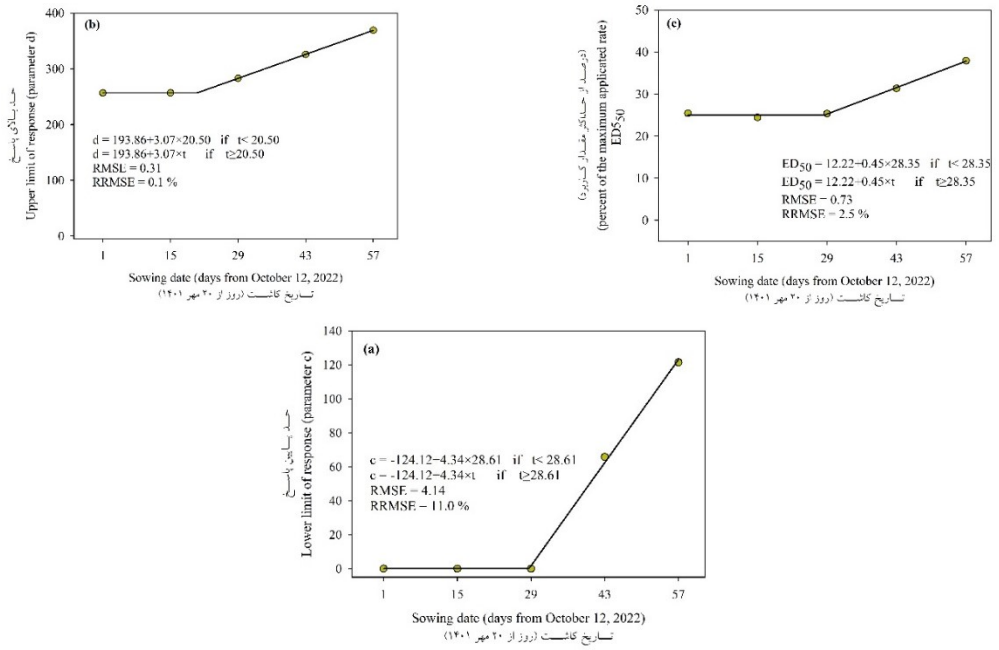
جدول ١- برآورد پارامترهای معادله دز-پاسخ لوگ لجستیک برازش یافته به داده‌های وزن خشک علف‌های هرز (گرم در متر مربع) در مقابل دز اختلاط علف‌کشی (درصد از حداکثر مقدار مصرف شده) در هر تاریخ کاشت

Table 1- Estimation of the parameters of the log-logistic dose-response equation fitted to the data of weed dry weight (g m^{-2}) versus herbicide mixing dose (% of the maximum value consumed) on each sowing date

تاریخ کاشت Sowing Date	پارامتر Parameter				نکویی برازش Goodness of Fit	
	c (g m^{-2})	d (g m^{-2})	b(g m^{-2} $dose^{-1}$)	ED_{50} (% of the maximum rate)	RMSE (g m^{-2})	RRMSE (%)
October 11	0.00 ± 0.00	256.75 ± 6.71	3.49 ± 0.74	25.45±1.07	11.9	13.67
October 28	0.00 ± 0.00	256.96 ± 5.00	3.01 ± 0.41	24.47±0.75	6.40	8.05
November 11	0.00 ± 0.00	283.08 ± 3.66	3.59 ± 0.57	25.35±0.46	5.74	5.90
November 26	65.80±8.16	325.76 ± 7.41	2.16 ± 0.43	31.35±1.93	13.47	7.71
December 10	121.47±5.17	369.11 ± 6.93	2.09 ± 0.76	37.94±2.69	30.76	12.87

*c، حد پایین دز-پاسخ؛ d، حد بالای دز-پاسخ؛ b، شیب دز-پاسخ علف‌های هرز در نقطه ED_{50}؛ ED_{50}، دز ایجادکننده ٥٠ درصد پاسخ بین حد بالا و پایین منحنی؛ RMSE، ریشه میانگین مربعات خطا و RRMSE، ریشه نسبی میانگین مربعات خطا است.

Abbreviation: c, Lower limit of the dose-response curve; d, Upper limit of the dose-response curve; b, Slope of the dose-response curve for weeds at the ED_{50} point; ED_{50}, Dose required to produce 50% of the maximum response between the upper and lower limits of the curve, RMSE: Root Mean Square Error, RRMSE: Relative Root Mean Square Error.



شکل ۲- برازش معادله خطی شکسته به داده‌های c (حد پایین دز-پاسخ علف‌های هرز) (الف)، d (حد بالای دز-پاسخ علف‌های هرز) (ب) و ED50 (دز ایجاد کننده ۵۰ درصد پاسخ بین حد بالا و پایین منحنی دز-پاسخ) (ج) در مقابل سطوح تاریخ کاشت. تاریخ‌های کاشت ۲۰ مهر، ٤ آبان، ۱۸ آبان، ۲ آذر و ۱٦ آذر به ترتیب به صورت سطوح کمی ۱، ۱۵، ۲۹، ٤۳ و ۵۷ روز از اولین تاریخ کاشت بیان شده است.

Figure 2. Fitting of the broken linear equation to the c (the lower limit of dose-response of weeds) (a); d (the upper limit of dose-response of weeds) (b); and ED_{50} data (the dose that produces 50% of the response between the upper and lower limits of dose-response curve) (c) versus sowing date levels. The sowing dates of October 11, October 28, November 11, November 26, and December 10 were represented as quantitative levels of 1, 15, 29, 43, and 57 days from the initial sowing date, respectively.

جدول ۲- برآورد پارامترها و معیارهای نکویی برازش برای مدل ترکیبی برازش‌یافته به داده‌های وزن خشک علف‌های هرز در مقابل سطوح مختلف دز اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" و تاریخ‌های کاشت (روز از ۲۰ مهر)

Table 2. Estimated parameters and goodness-of-fit criteria for the combined model fitted to the dry weight weed biomass in response to different levels of the herbicide combination of "oxadiazon + clopyralid" versus sowing dates (day from October 11).

Parameter پارامتر										نکویی برازش Goodness of Fit	
c_0* (g m^{-2})	$t_{0\,(c)}$ (days)	α (g m^{-2} d^{-1})	d_0 (g m^{-2})	$t_{0\,(d)}$ (d)	β(g m^{-2} d^{-1})	b(g m^{-2} dose)	$ED_{50(0)}$ (%)	$t_{0\,(ED50)}$ (d)	λ(%dos e d^{-1})	RMSE (g m^{-2})	RRMSE (%)
-157.81±8.34	28.36±1.66	5.16±0.42	212.57±19.47	15.79±5.60	2.50±0.45	2.40±0.25	17.24±3.83	22.06±3.58	0.33±0.13	14.42	10.70

* c_0، عرض از مبدا حد پایین دز-پاسخ در مقابل زمان؛ $t_{0(c)}$، زمان شروع افزایش خطی حد پایین دز-پاسخ با تأخیر در کاشت؛ α، شیب افزایش حد پایین دز-پاسخ با تاخیر در کاشت؛ d_0، عرض از مبدا حد بالای دز-پاسخ در مقابل زمان؛ $t_{0\,(d)}$، زمان شروع افزایش خطی حد بالای دز-پاسخ با تأخیر در کاشت؛ β، شیب افزایش حد بالا دز-پاسخ با تاخیر در کاشت؛ b، شیب منحنی دز-پاسخ در نقطه ED_{50}؛ $ED_{50(0)}$، عرض از مبدا تغییرات ED_{50} در پاسخ به تاریخ کاشت؛ $t_{0(ED50)}$، زمان شروع افزایش خطی ED_{50} با تأخیر در کاشت؛ λ شیب افزایش ED_{50} با تأخیر در کاشت؛ RMSE، ریشه میانگین مربعات خطا و RRMSE، ریشه نسبی میانگین مربعات خطا هستند.

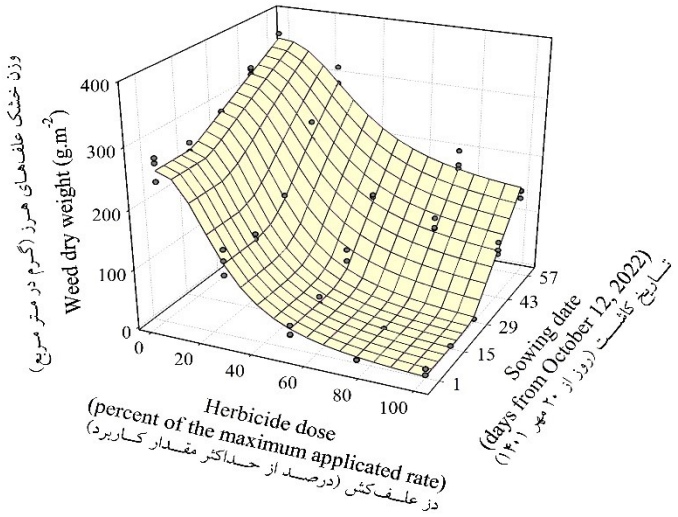
*Abbreviation: c_0: Y-intercept of the lower limit of the dose-response curve as a function of time; $t_0(c)$: Timepoint at which the linear increase of the lower limit of the dose-response curve initiates, reflecting a delay associated with sowing; α: slope of the linear increase in the lower limit of the dose-response curve as influenced by delayed sowing; d_0: Y-intercept of the upper limit of the dose-response curve as a function of time; $t_0(d)$: Timepoint at which the linear increase of the upper limit of the dose-response curve initiates, reflecting a delay associated with sowing; β: Slope of the linear increase in the upper limit of the dose-response curve as influenced by delayed sowing; b: Slope of the dose-response curve at the ED_{50} point, indicating the rate of change in response with respect to dose; $ED_{50(0)}$: Y-intercept representing the baseline changes in ED_{50} in response to different sowing dates; $t_{0(ED50)}$: Timepoint at which the linear increase of ED_{50} commences, reflecting a delay associated with sowing; λ: Slope of the increase in ED_{50} due to the delay in sowing, RMSE: Root Mean Square Error, quantifying the average deviation between observed and predicted data, RRMSE: Relative Root Mean Square Error, expressing the model error as a percentage of observed data.

مدل نهایی توصیف‌کننده تغییرات وزن خشک علف‌های هرز در برداشت در پاسخ به دو عامل دز مصرف اختلاط علف‌کشی و تاریخ کاشت با جایگذاری تابع خطی شکسته بجای پارامترهای c (معادله ۳)، d (معادله ٤) و ED_{50} (معادله ٥) در تابع دز-پاسخ لوگ‌لجستیک (معادله ۱) توسعه یافت. برآورد پارامترها و معیارهای نکویی برازش مدل نهایی به مجموعه داده‌های مشاهده‌شده در تمام سطوح دز علف‌کش و تاریخ کاشت (۷۵ نقطه داده) در جدول (۳) ارائه شده است. مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده مربوط به این برازش در شکل ۳ نشان داده شده است. مدل ترکیبی توسعه‌یافته در اینجا توانست تغییرات وزن خشک علف‌های هرز در مزرعه با تغییر در دز مصرف اختلاط علف‌کشی و تاریخ کاشت را با حدود ۱۰/۷ درصد خطا (RMSE=14.42 g m^{-2}) برآورد کند.

درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز نسبت به حداکثر مقدار پیش‌بینی‌شده (۳۵۵/۲۰ گرم در متر مربع) در ترکیب شرایط دزهای مختلف اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" و تاریخ‌های کاشت (برحسب روز از ۲۰ مهر) در نمودار کانتور (شکل ٤) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بیشترین درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز در دزهای بالاتر و تاریخ‌های کاشت زودتر رخ می‌دهد. به‌عنوان مثال، در شرایط ۱۰۰ درصدی مصرف علف‌کش، کاهش وزن در تاریخ‌های ۲۰ مهر و ٤ آبان معادل ۱۰۰ درصد پیش‌بینی شد، در حالی که در تاریخ‌های ۱۸ آبان، ۲ آذر و ۱٦ آذر به ترتیب به ۹۸/۹، ۷۷/۷ و ٥٦/۷ درصد کاهش یافت. در کشت پاییزه کلزا، تأخیر در کاشت منجر به تغییر ترکیب فلور علف‌های هرز می‌شود. معمولاً، علف‌هرز غالب در تاریخ‌های زودتر پنیرک و در تاریخ‌های تأخیری خردل وحشی است. این تغییرات، همراه با رشد آهسته‌تر کلزا در شرایط دمایی پایین، می‌تواند کارایی اختلاط علف‌کشی را کاهش دهد. تحقیقات مشابه نیز نشان داده‌اند که کاشت دیرهنگام می‌تواند تراکم علف‌های هرز را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد. در همین راستا، کارکانیس و همکاران (۲۰۲۲) کاهش ٦٤/۲ تا ٦٦/۷ درصدی تراکم خار مریم را گزارش کردند (۹) و گرهارد و همکاران (۲۰۲۲) کاهش ٤۳٪ تراکم دم روباهی کشیده را در کاشت‌های دیرهنگام گندم مشاهده کردند. به همین ترتیب، تلفیق کاربرد علف‌کش پندیمتالین + فلوفناست و کاشت دیرهنگام گندم، منجر کنترل ۸۷ درصد جمعیت دم روباهی کشیده و افزایش عملکرد گندم به ۷/۹ تن در هکتار شد (۱۰).

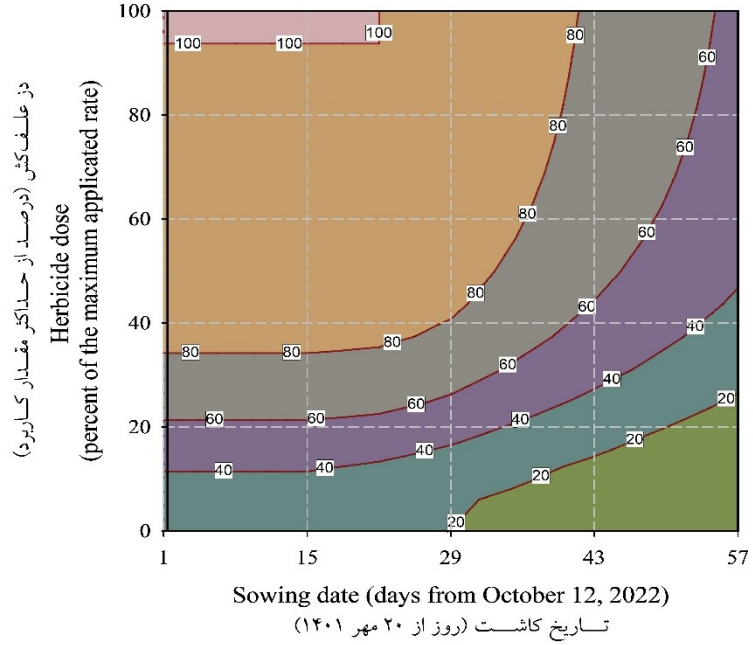
عملکرد دانه کلزا و مدل عملکرد دانه: برازش معادله خطی دوتکه‌ای (معادله ۲) به داده‌های عملکرد دانه کلزا (گرم در متر مربع) در مقابل دز اختلاط علف‌کشی (درصد از حداکثر مقدار مصرف‌شده) بطور جداگانه برای هر تاریخ کاشت در شکل ٥ نشان داده شده است و خروجی‌های برازش در جدول ۳ خلاصه شده‌اند. مدل استفاده‌شده رابطه بین عملکرد دانه و دز اختلاط علف‌کشی را بخوبی توصیف کرد، بطوریکه میانگین خطای نسبی برازش مدل (RRMSE) بسته به تاریخ کاشت کلزا تنها بین ۳/٥ تا ٦/۹ درصد بدست آمد (جدول ۳). مقایسه حدود اطمینان (۹٥ درصد) برآورد پارامترها نشان داد که هیچ تفاوت آماری معنی‌داری میان تاریخ‌های کاشت به‌لحاظ پارامتر $dose_{(break-point)}$ وجود نداشت، اما سه پارامتر دیگر مدل به‌طور معنی‌داری با تاریخ کاشت تغییر کرد (جدول ۳). بر این اساس، ارتباط بین $Y_{dose_{(min)}}$، $Y_{dose_{(break-point)}}$ و $Y_{dose_{(max)}}$ در مقابل سطوح تاریخ کاشت کلزا رگرسیون شد تا معادله اولیه بر مبنای هر دو عامل مورد بررسی در آزمایش (دز اختلاط علف‌کشی و تاریخ کاشت) بیان شود. به این ترتیب،

درنهایت مدل ترکیبی بدست‌آمده به داده‌های اولیه برازش داده شد و خروجی‌های نهایی تعیین گردید. لازم به توضیح است که برای تجزیه رگرسیون، تاریخ‌های کاشت بر اساس روز از اولین سطح از این عامل (۲۰ مهر) بیان شد. بر این اساس، تاریخ‌های کاشت (t) به ترتیب معادل ۱، ۱۵، ۲۹، ٤۳ و ۵۷ روز از ۲۰ مهر در نظر گرفته شد.



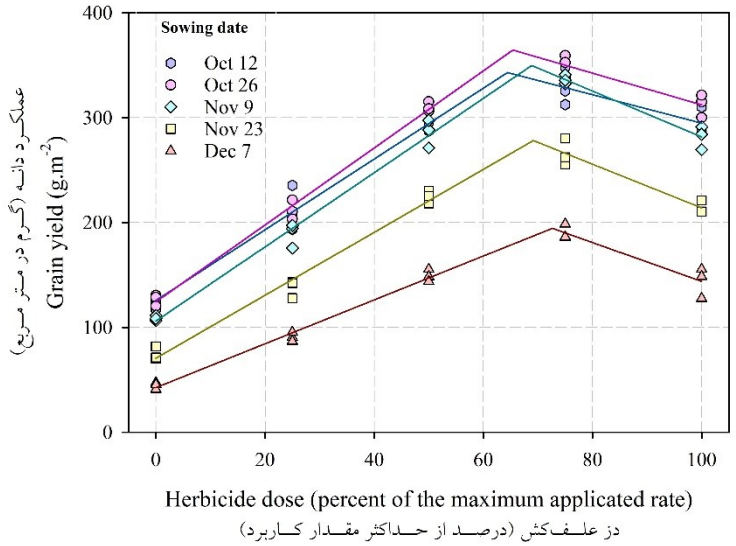
شکل ۳- پیش‌بینی وزن خشک علف‌های هرز در زمان برداشت در پاسخ به سطوح مختلف دز اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" و تاریخ‌های کاشت (روز از ۲۰ مهر) با برازش مدل ترکیبی به داده‌های مشاهده شده (دایره‌ها)

Figure 3. Predicted dry weight of weeds at harvest time in response to various levels of the herbicide combination "oxadiazon + clopyralid" and sowing dates (day from October 11), with the combined model fitted to the observed data (represented by circles).



شکل ٤- درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز در ترکیبی از سطوح کاربرد اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" و تاریخ‌های کاشت (روز از ۲۰ مهر)

Figure 4. Percentage reduction in dry weight of weeds in response to varying application levels of the herbicide mixture "oxadiazon + clopyralid" and sowing dates (measured in days from October 11)



شکل ۵- برازش معادله خطی دوتکه‌ای به داده‌های عملکرد دانه کلزا در مقابل دز اختلاط علف‌کشی (درصد از حداکثر مقدار مصرف‌شده) در هر تاریخ کاشت

Figure 5. Fitting the two-segmented linear equation to data of rapeseed yield versus herbicide mixing dose (percentage of the maximum applied amount) at each sowing date.

جدول ۳- **برآورد پارامترهای معادله خطی دوتکه‌ای برازش‌یافته به داده‌های عملکرد دانه کلزا (گرم در متر مربع) در مقابل دز اختلاط علف‌کشی (درصد از حداکثر مقدار مصرف‌شده) در هر تاریخ کاشت**

Table 3. Estimated parameters of two-segmented linear equation fitted to the yield data of canola (g m^{-2}) in response to herbicide mixture dosage (percentage of the maximum application rate) for each sowing date

تاریخ کاشت Sowing date	پارامتر Parameter				نکویی برازش Goodness of fit	
	$Y_{dose\ (min)}$* (g m^{-2})	$Y_{dose\ (break\text{-}point)}$ (g m^{-2})	$Y_{dose\ (max)}$ (g m^{-2})	Dose (break-point) (% of the maximum rate)	RMSE (g m^{-2})	RRMSE (%)
October 11	125.6±7.2	343.1±8.9	294.8±7.9	64.4±3.3	14.4	5.7
October 28	124.3±4.5	365.5±5.4	312.3±5.0	65.4±1.8	9.0	3.5
November 11	106.0±5.2	349.8±5.3	281.7±5.7	68.9±1.8	10.3	4.3
November 26	70.5±5.0	278.3±5.1	214.0±5.5	69.2±2.0	9.9	5.4
December 10	42.5±4.3	194.6±4.2	143.8±4.7	72.7±2.2	8.5	6.9

* $Y_{dose(min)}$، عملکرد دانه در شرایط مصرف کمترین دز از اختلاط علف‌کشی؛ $Y_{dose(break\text{-}point)}$، عملکرد دانه در نقطه شکست منحنی (عملکرد دانه در شرایط مصرف دز بهینه از اختلاط علف‌کشی)؛ $Y_{dose(max)}$، عملکرد دانه در شرایط مصرف بیشترین دز از اختلاط علف‌کشی؛ $dose_{(break\text{-}point)}$، دز مورد نیاز از اختلاط علف‌کشی (درصد از حداکثر مقدار مصرف‌شده) برای دستیابی به بالاترین مقدار عملکرد دانه کلزا؛ RMSE، ریشه میانگین مربعات خطا و RRMSE، ریشه نسبی میانگین مربعات خطا است.

Abbreviation: $Y_{dose(min)}$, Seed yield under the minimum dosage of the herbicide mixture; $Y_{dose(break\text{-}point)}$, Seed yield at the break-point of the curve (seed yield under the optimal dosage of the herbicide mixture); $Y_{dose(max)}$, Seed yield under the maximum dosage of the herbicide mixture; $dose_{(break\text{-}point)}$, The required dosage of the herbicide mixture (percentage of the maximum applied rate) to achieve the highest seed yield of canola; RMSE: Root Mean Square Error, and RRMSE: Relative Root Mean Square Error.

برای توصیف ارتباط بین $Y_{dose_{(min)}}$ (مقدار عملکرد دانه کلزا در شرایط مصرف کمترین دز از اختلاط علف‌کشی) و تاریخ کاشت، کارایی دو معادله درجه دوم[1] (معادله ٦) و خطی شکسته[2] (معادله ٧) ارزیابی شد (شکل ٦):

1. Quadratic
2. Broken linear

معادله (٦)

$$Y_{dose_{(\min)}} = Y_0(dose_{\min}) + \alpha t + \beta t^2$$

معادله (۷)

$$Y_{dose_{(\min)}} = \begin{cases} Y_0(dose_{\min}) + \delta t_{0(Y_{dose_{(\min)}})} & if \quad t < t_{0(Y_{dose_{(\min)}})} \\ Y_0(dose_{\min}) + \delta t & if \quad t \geq t_{0(Y_{dose_{(\min)}})} \end{cases}$$

که در این معادله‌ها، $Y_0(dose_{\min})$، عرض از مبدا (محل برخورد منحنی با محور y)؛ α و β، ضرایب معادله درجه دوم؛ δ، شیب بخش دوم منحنی خطی شکسته و $t_{0(Y_{dose_{(\min)}})}$، زمان شروع کاهش خطی $Y_{dose_{(\min)}}$ با تاخیر در کاشت (t، زمان بر حسب روز از ۲۰ مهر) هستند. در معادله خطی شکسته، بخش اول معادله، یعنی $Y_0(dose_{\min}) + \delta t_{0(Y_{dose_{(\min)}})}$، بیشینه مقدار $Y_{dose_{(\min)}}$ را در بازه بین t=1 و $t=t_0$ نشان می‌دهد. مقایسه دو معیار AIC_c و RRMSE بوضوح حاکی از آن بود که مدل خطی شکسته (AIC_c=11.5 و RRMSE=3.4%) توصیف بهتری از ارتباط بین $Y_{dose_{(\min)}}$ و تاریخ کاشت ارائه می‌داد (شکل ٦). بر اساس این مدل، $Y_{dose_{(\min)}}$ تا ۲۰ روز از اولین تاریخ کاشت مورد ارزیابی (۲۰ مهر) ثابت بود (۱۲٤/۹ گرم در متر مربع) و پس از آن به ازای هر روز تاخیر در کاشت با شیب منفی ۲/۳ گرم در متر مربع در روز کاهش یافت.

پاسخ $Y_{dose_{(break-point)}}$ (مقدار عملکرد دانه کلزا در نقطه شکست منحنی یا بیشینه عملکرد دانه در شرایط مصرف دز بهینه اختلاط علف‌کشی) به تاخیر در کاشت نیز با ارزیابی و انتخاب از بین دو معادله درجه دوم و خطی شکسته بررسی شد. در اینجا، معادله‌های بالا با فرمول‌های زیر (۸ و ۹) بیان شد:

معادله (۸)

$$Y_{dose_{(break-point)}} = Y_0(dose_{break-point}) + \gamma t + \lambda t^2$$

معادله (۹)

$$Y_{dose_{(break-point)}} = \begin{cases} Y_0(dose_{break-point}) + \mu t_{0(Y_{dose_{(break-point)}})} & if \quad t < t_{0(Y_{dose_{(break-point)}})} \\ Y_0(dose_{break-point}) + \mu t & if \quad t \geq t_{0(Y_{dose_{(break-point)}})} \end{cases}$$

که در این معادله‌ها، $Y_0(dose_{break-point})$، عرض از مبدا (محل برخورد منحنی با محور y)؛ γ و λ ضرایب معادله درجه دوم؛ μ، شیب بخش دوم منحنی خطی شکسته و $t_{0(Y_{dose_{(break-point)}})}$، زمان شروع کاهش خطی $Y_{dose_{(break-point)}}$ با تاخیر در کاشت (t، زمان بر حسب روز از ۲۰ مهر) هستند. معیارهای انتخاب مدل و نکویی برازش نشان داد که معادله درجه دوم (AIC_c=23.8 و RRMSE=3.6%) نسبت به مدل خطی شکسته (AIC_c=27.7 و RRMSE=5.2%) توصیف بهتری از ارتباط بین $Y_{dose_{(break-point)}}$ و تاریخ کاشت ارائه داد (شکل ٦). بر اساس ضرایب بدست‌آمده از برازش معادله درجه دوم، با ۱۵ روز تاخیر در کاشت از ۲۰ مهر، $Y_{dose_{(break-point)}}$ از ۳٤٤/۵ به ۳٦۵/۵ گرم در متر مربع افزایش یافت و تاخیر بیشتر در کاشت با کاهش $Y_{dose_{(break-point)}}$ همراه بود، بطوریکه در تاریخ کاشت ۱٦ آذر (۵۷ روز پس از اولین تاریخ کاشت) به ۱۹۱/۱ گرم در متر مربع رسید (شکل ٦). معادله‌های درجه دوم و خطی شکسته مقایسه‌شده برای بررسی رابطه بین $Y_{dose_{(\max)}}$ (مقدار عملکرد دانه در شرایط مصرف بیشترین دز از اختلاط علف‌کشی) و تاریخ کاشت به صورت زیر (معادله‌های ۱۰ و ۱۱) بیان شدند:

معادله (۱۰)

$$Y_{dose_{(\max)}} = Y_0(dose_{\max}) + \theta t + \sigma t^2$$

معادله (۱۱)

$$Y_{dose_{(\max)}} = \begin{cases} Y_0(dose_{\max}) + \upsilon t_{0(Y_{dose_{(\max)}})} & if \quad t < t_{0(Y_{dose_{(\max)}})} \\ Y_0(dose_{\max}) + \upsilon t & if \quad t \geq t_{0(Y_{dose_{(\max)}})} \end{cases}$$

که در این معادله‌ها، $Y_0(dose_{\max})$، عرض از مبدا (محل برخورد منحنی با محور y)؛ θ و σ، ضرایب معادله درجه دوم؛ υ، شیب بخش دوم منحنی خطی شکسته و $t_{0(Y_{dose_{(\max)}})}$، زمان شروع کاهش خطی $Y_{dose_{(\max)}}$ با تاخیر در کاشت (t، زمان بر حسب روز از ۲۰ مهر) هستند. پاسخ $Y_{dose_{(\max)}}$ به تغییر در تاریخ

کاشت با برازش مدل خطی شکسته (AIC_c=25.1 و RRMSE=5.0%) با خطای کمتری نسبت به معادله درجه دوم (AIC_c=26.8 و RRMSE=5.9%) توصیف شد (شکل ٦). بر اساس ضرایب بدست‌آمده از برازش مدل خطی شکسته، ۲۵ روز تاخیر در کاشت از اولین سطح (۲۰ مهر) تاثیری بر مقدار $Y_{dose_{(\max)}}$ نداشت، اما تاخیر بیشتر در کاشت با کاهش خطی $Y_{dose_{(\max)}}$ (با شیب منفی ٤/۹ گرم در متر مربع در روز) همراه بود و از ۳۰۳/٦ به ١٤٤/۳ گرم در متر مربع در تاریخ کاشت ١٦ آذر رسید (شکل ٦).

با جایگذاری معادله خطی شکسته بجای پارامترهای $Y_{dose_{(\min)}}$ و $Y_{dose_{(\max)}}$ و نیز معادله درجه دوم بجای $Y_{dose_{(break-point)}}$، مدل نهایی (معادله ١٢) توصیف‌کننده تغییرات عملکرد دانه کلزا در مقابل دز اختلاط علف‌کشی و تاریخ کاشت به صورت زیر بدست آمد:

معادله (١٢)

$$Y=\begin{cases}\dfrac{Y_{dose_{(\min)}}\left(dose_{(break\ -\ po\ \text{int})}-dose\right)+Y_0\left(dose_{break-po\,\text{int}}\right)+\gamma t+\lambda t^2\left(dose\right)}{dose_{(break\ -\ po\ \text{int})}} & if \quad dose\le dose_{(break\ -\ po\ \text{int})}\\ \dfrac{Y_0\left(dose_{break-po\,\text{int}}\right)+\gamma t+\lambda t^2\left(100-dose\right)+Y_{dose_{(\max)}}\left(dose-dose_{(break\ -\ po\ \text{int})}\right)}{100-dose_{(break\ -\ po\ \text{int})}} & if \quad dose>dose_{(break\ -\ po\ \text{in})}\end{cases}$$

که

$$Y_{dose_{(\min)}}=\begin{cases}Y_0\left(dose_{\min}\right)+\delta t_{0(Y_{dose_{(\min)}})} & if \quad t<t_{0(Y_{dose_{(\min)}})}\\ Y_0\left(dose_{\min}\right)+\delta t & if \quad t\ge t_{0(Y_{dose_{(\min)}})}\end{cases}$$

$$Y_{dose_{(\max)}}=\begin{cases}Y_0\left(dose_{\max}\right)+\nu t_{0(Y_{dose_{(\max)}})} & if \quad t<t_{0(Y_{dose_{(\max)}})}\\ Y_0\left(dose_{\max}\right)+\nu t & if \quad t\ge t_{0(Y_{dose_{(\max)}})}\end{cases}$$

مدل ترکیبی شامل ده پارامتر بود که به داده‌های مشاهده‌شده (۷۵ نقطه داده) از سطوح مختلف دز اختلاط علف‌کشی و تاریخ‌های کاشت برازش داده شد. مقدار RRMSE این برازش ۵/۱ درصد تعیین شد که از براش به‌نسبت خوب مدل حکایت داشت (جدول ٤؛ شکل ۷). لازم به توضیح است که از میان ده پارامتر مدل نهایی، هشت ضریب مفهوم زیست‌شناختی معنی‌داری داشتند.

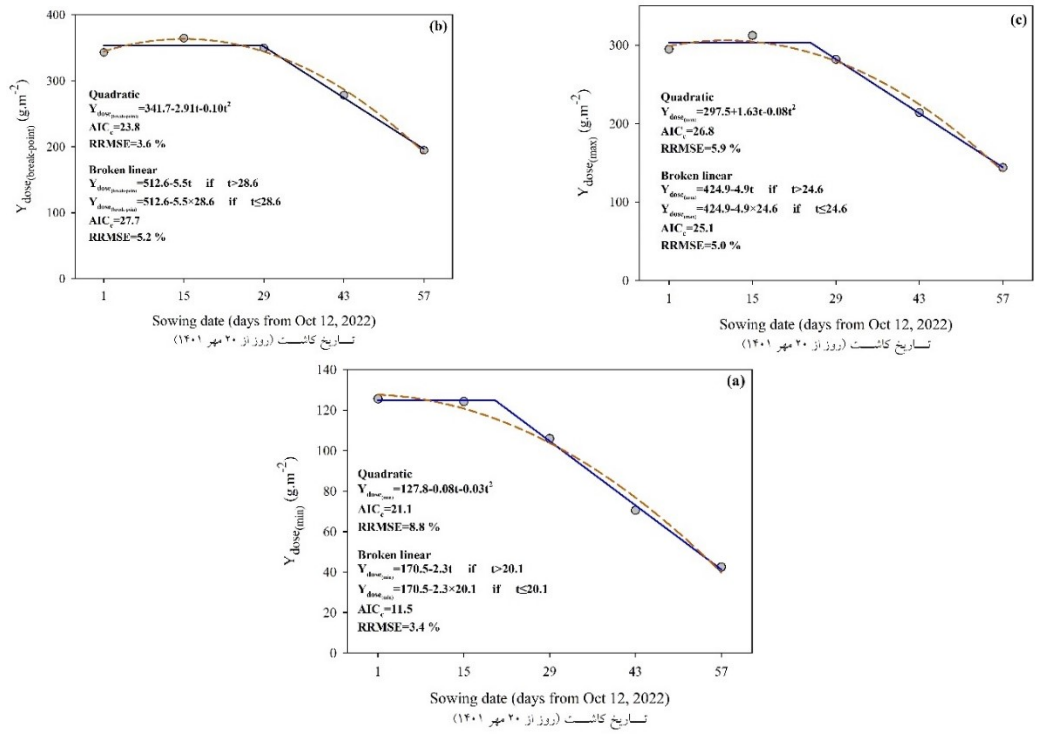
پیش‌بینی میزان افت عملکرد دانه کلزا (درصد نسبت به حداکثر عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده که این مقدار معادل بود با ۳٦۳ گرم در متر مربع و در شرایط کاربرد حدود ٦۹ درصد از حداکثر مقدار کاربرد اختلاط علف‌کشی در تاریخ کاشت ٤ آبان بدست آمد) در پاسخ به دز کاربرد اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" و تاریخ‌های کاشت (روز از ۲۰ مهر) با استفاده از نمودار کانتور در شکل ۸ ارائه شده است. خطوط داخل این نمودار درصد افت عملکرد دانه ثابتی را برای ترکیبی از سطوح دو عامل مورد بررسی پیش‌بینی می‌کند. بر مبنای خروجی‌های مدل، بیشترین افت عملکرد دانه کلزا مربوط به ترکیبی از شرایط مصرف دزهای کمتر اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" و تاریخ‌های کاشت تاخیری بود. برای مثال، در شرایط بدون کاربرد علف‌کش، افت عملکرد دانه کلزا در تاریخ‌های کاشت ۲۹ (۱۸ آبان)، ٤۳ (۲ آذر) و ۵۷ (١٦ آذر) روز از ۲۰ مهر به ترتیب ۷۱/۳، ۸۰/٤ و ۸۹/٤ درصد پیش‌بینی شد. کمترین افت عملکرد دانه کلزا با کاربرد دز کامل (۱۰۰ درصد از مقدار مصرف‌شده) اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" بدست نیامد، چرا که کاربرد این دز از اختلاط دو علف‌کش تا حدودی با گیاه‌سوزی و توقف موقت رشد بوته‌های کلزا همراه بود. از آن‌جا که اگزادیازون (گروه ١٤) علف‌کش اختصاصی کلزا نمی‌باشد به‌نظر می‌رسد استفاده از یک بازدارنده پروتوپورفیرینوژن اکسیداز مانند اکسادیازون ممکن است منجر به کاهش پروتوپورفیرین IX درون سلولی و اختلالات بعدی در رشد گیاه شود (۱۱). از طرفی، علف‌کش‌های متعلق به گروه مذکور (PPO) با فعالیت برگی با طیف تأثیر محدود بر علف‌های هرز پهن‌برگ هستند که برای کنترل کامل علف‌های هرز بایستی با سایر علف‌کش‌ها ترکیب شوند (۱۲). جالب توجه است که آنتاگونیسم علف‌کش‌های گروه ۱ شامل

علف‌کش‌هایی می‌شود کـه اثربخشـی محـدودی روی گونه‌های کشیده‌برگ دارند (مثلاً گروه‌هـای علـف‌کش ٤، ٦، ١٤) و همچنـین علف‌کش‌هـایی کـه مـی‌تواننـد سطح بالایی از اثربخشی روی علف‌هـای هـرز داشـته باشـند (مثلـاً علف‌کش‌هـای گـروه ۲، گلایفوسـیت، گلوفوسینیت) (۱۲). بنابراین، به‌نظر می‌رسد استفاده از اگزادیازون + کلوپیرالید ترکیب مناسـبی بـرای کنتـرل طیف بیشتری از علف‌های هرز در مزارع کلـزا باشـد. در عوض کاربرد حدود ۷۵ درصـد از حـداکثر مقـدار مصرف‌شـده از اختلـاط علف‌کشـی "اگزادیـازون + کلوپیرالید" در تاریخ‌های کاشت ۲۰ مهر، ٤ آبان و ۱۸ آبان به ترتیب تنها به افت عملکـردی در حـدود ۷/۰، ۳/۳ و ۸/۹ درصد منتج شد. به نظر می‌رسد که دزهای کاهش‌یافته علف‌کش، سرعت رشد علف‌های هـرز را کاهش می‌دهد و منجر به ایجاد رقابت نامتقارن به نفع گیاه زراعی می‌شـود (۱۳). در ضـمن، در تـاریخ‌هـای کاشت زودتر به دلیل کوچکتر شدن بازه دوره بحرانـی کنترل علف‌های هرز (١٤) می‌تـوان بـا اسـتفاده از دز کمتری (نسبت به دز توصیه‌شده) از علف‌کش، علف-های هرز را کنترل کرد. همچنین، افـت عملکـرد دانـه کلزا در تاریخ‌هـای کاشـت ۲ آذر و ١٦ آذر بـا همـین مقـدار از کـاربرد اختلـاط علف‌کشـی "اگزادیـازون + کلوپیرالید" به ترتیب به حـدود ۲۵/٦ و ۵۰/۳ درصـد رسـید. ایـن کـاهش عملکـرد مـی‌توانـد بـه دلیـل سایه‌اندازی بیشتر، کـاهش تعـداد شـاخه‌هـای فرعـی، افزایش رقابت درون‌گونه‌ای برای نور و رقابت بیشـتر علف‌های هرز با کلزا به دلیـل طولـانی‌تـر شـدن دوره بحرانی کنترل علف‌های هرز باشـد (١٤). در آزمـایش مشـابهی، دُز مـورد نیـاز از اختلـاط علف‌کشـی "بنتازون+هالوکسـیفپ-آر-متیـل اسـتر" بـرای حفـظ نیمی از عملکرد دانه باقلا در شرایط کمترین رقابت بـا علف‌های هرز در تیمار بدون مصرف کود ($CD_{50(N0)}$) معادل ۰/٦۰ از مقـدار توصیه‌شـده بـرآورد شـد (۱۵). به‌طوری‌که نویسندگان اظهـار داشـتند کـاهش قابلیـت رقابتی علف‌های هرز با مصرف سطوح بالاتر نیتـروژن در شرایط کاربرد علف‌کش‌ها قابل‌توجیه است (۱۵).

گیاه پنیرک مهم‌ترین علف‌هرز مزارع گندم و کلـزا در خوزستان است (١٦). پنیرک، علاوه بر اینکـه دارای توان رقابتی بالایی است (۱۷) و پس از برداشت باعث افزایش رطوبت دانه‌های کلزا در انبار می‌شود، به دلیل وزن بالای دانـه‌ها، وجـود آن در محصـول هـم افـت ناخالصـی و هـم افـت رطـوبتی کلـزای تحـویلی از کشاورز به مراکـز خریـد را به‌شـدت بالـا می‌بـرد. در خوزستان، زمان اوج سبز شدن بذر علـف‌هرز پنیـرک در ماه‌های اول و گرم‌تر پاییز است و پـس از آن، هـم درصد ظهور آن در مزرعه کاهش می‌یابد و هـم آنکـه بوته‌های سبز شده اندازه‌ای کوچکتر و در نتیجه تـوان رقابتی کمتری دارند. این شرایط باعث شـده کـه ایـن علف‌هرز در گندم که بطور معمول شروع کشت و کار آن در خوزستان از ۲۰ آبان آغـاز می‌شـود، از اهمیـت کمتری برخوردار باشد. از طرفی، علـف‌هرز پنیـرک را در گندم به‌راحتی می‌توان بـا کـاربرد علف‌کشـی‌هایی مانند 2,4-D مهار کرد (۱۸). در این مطالعه، تـاخیر در کاشـت کلـزا صـرف‌نظر از مقـدار کـاربرد اختلـاط علف‌کشی، به افت زیاد عملکرد دانه کلـزا منـتج شـد. لازم بـه ذکـر اسـت کـه هـدف از کـاربرد علـف‌کش اگزادیازون در این اختلاط، مهار علـف‌هرز پنیـرک در کلزا بود کـه بـویژه در تاریخ‌هـای کاشـت زودهنگـام به‌شدت قابل رقابت با کلزا خواهد بود. در کاشت‌های زودهنگام، در صورت وجود آب کافی، دمـا و شـدت نـور بـرای رشـد بوتـه‌های کلـزا ایـده‌آل اسـت و مشکل‌سازترین علف‌هرز در این شـرایط گیـاه پنیـرک می‌باشد. با تاخیر در کاشـت و کـاهش دمـای هـوا از سرعت رشد اولیه بوته‌های کلزا و به تبع توان رقـابتی آن‌ها به‌شدت کاسته می‌شود و از طرفی در این زمـان، ظهور علف‌هـای هـرز پـاییزه ماننـد چغنـدر وحشـی، خردل وحشی، کـاهوی وحشـی، شـاه افسـر، چچـم، یولـاف زمسـتانه، فالـاریس و سـایر گونـه‌ها بـه اوج

می‌رسد که این به کاهش کارایی اختلاط علف‌کشی مورد ارزیابی در این آزمایش منتج شد.

علف‌کش اگزادیازون، علف‌کش توصیه‌شده در مزارع برنج به‌ویژه مزارع برنج شمال کشور می‌باشد که علف‌های هرز متعلق به دو خانواده شب‌بو و پنیرک، از علف‌های هرز هدف کنترل این علف‌کش می‌باشند (۱۸). لذا با توجه به محدود بودن تعداد علف‌کش‌های موجود در سبد علف‌کش‌های توصیه‌شده در زراعت کلزا، بایستی از علف‌کش‌های موجود برای سایر محصولات در جهت مهار علف‌های هرز هم‌طیف در سایر محصولات به‌شرط خسارت‌زا نبودن استفاده کرد؛ کاری که کشاورزان و محققان در مناطق مختلف کشور به صورت تجربی و علمی شروع کرده‌اند. همچنین، محققان دیگر نیز بر اهمیت ترکیب کاهش مصرف علف‌کش با سایر شیوه‌های مدیریتی، مانند تناوب زراعی و وجین مکانیکی، برای دستیابی به کنترل علف‌های هرز پایدار و مفید از نظر اکولوژیکی تأکید می‌کنند (۱۹). علاوه براین، برای کنترل علف‌های هرز، تکنیک‌های کنترل غیرشیمیایی را می‌توان به روش‌هایی که در طول چندین فصل اجرا می‌شوند، از جمله خاک‌ورزی تناوبی معکوس، افزایش تنوع محصولات، و اقدامات درون فصلی، مانند میزان کاشت بذر، تاریخ کاشت، که هر دو در استراتژی‌های مدیریت یکپارچه علف‌های هرز گنجانده شده‌اند، تقسیم کرد (۲۰).



شکل ٦- برازش دو معادله درجه دوم و خطی شکسته به داده‌های $Y_{dose\ (min)}$ (عملکرد دانه در شرایط مصرف کمترین دز از اختلاط علف‌کشی) (الف)، $Y_{dose\ (break\text{-}point)}$ (عملکرد دانه در نقطه شکست منحنی) (ب)، و $Y_{dose(max)}$ (عملکرد دانه در شرایط مصرف بیشترین دز از اختلاط علف‌کشی) (ج) در مقابل سطوح تاریخ کاشت. تاریخ‌های کاشت ۲۰ مهر، ٤ آبان، ۱۸ آبان، ۲ آذر و ١٦ آذر به ترتیب به صورت سطوح کمی ۱، ۱۵، ۲۹، ٤۳ و ۵۷ روز از اولین تاریخ کاشت بیان شده است.

Figure 6- Fitting of quadratic and broken linear models to the $Y_{dose(min)}$ (seed yield under the conditions of using the lowest dose of herbicide mixture) (a), $Y_{dose(break\text{-}point)}$ (seed yield at the breaking point of the curve) (b), and $Y_{dose(max)}$ (seed yield under the conditions of using the maximum dose of herbicide mixture) (c) data versus sowing date levels. The sowing dates of October 12, October 26, November 10, November 24, and December 10 are represented as quantitative levels of 1, 15, 29, 43, and 57 days from the initial sowing date, respectively.

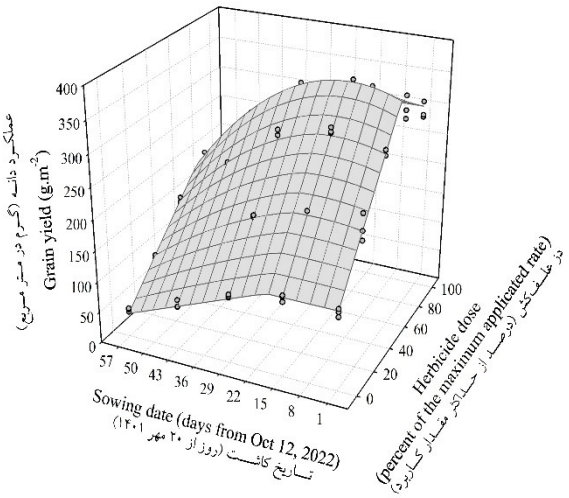
جدول ٤- برآورد پارامترها و معیارهای نکویی برازش برای مدل ترکیبی (معادله ٤-۱۲) برازش‌یافته به داده‌های عملکرد دانه کلزا در مقابل سطوح مختلف دز اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" و تاریخ‌های کاشت (روز از ۲۰ مهر)

Table 4. Estimated parameters and goodness of fit criteria for the combined model (Equation 12) fitted to rapeseed yield data versus different levels of "oxadiazon + clopyralid" herbicide mixing dose and sowing dates (from October 20)

پارامتر Parameter										نکویی برازش Goodness of fit	
$Y_0(dose_{\min})$ (g m^{-2})	δ (g m^{-2} d^{-1})	$t_{0(Y_{dose(\min)})}$ (The days from October 12)	$dose_{(break-po\,int)}$ (%)	$Y_0(dose_{break-po\,int})$ (g m^{-2})	γ	λ	$Y_0(dose_{\max})$ (g m^{-2})	ν (g m^{-2} d^{-1})	$t_{0(Y_{dose(\max)})}$ (The days from October 12)	RMSE (g m^{-2})	RRMSE (%)
172.3±12.0	-2.3±0.3	19.2±3.4	67.8±1.0	345.0±5.8	2.8±0.5	-0.1±0.0	424.4±13.7	-4.9±0.3	24.9±1.6	10.8	5.1

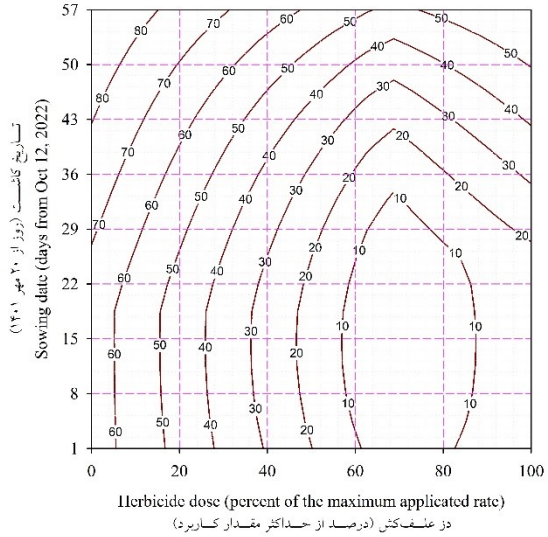
* $Y_0(dose_{\min})$، عرض از مبدا (محل برخورد منحنی با محور y) پاسخ عملکرد دانه کلزا به تاریخ کاشت در شرایط مصرف کمترین دز از اختلاط علف‌کشی؛ δ، شیب کاهش عملکرد دانه کلزا در پاسخ به تاخیر در کاشت در شرایط مصرف کمترین دز از اختلاط علف‌کشی؛ $t_{0(Y_{dose(\min)})}$، زمان شروع کاهش خطی عملکرد دانه کلزا در شرایط مصرف کمترین دز از اختلاط علف‌کشی؛ $dose_{(break-po\,int)}$، دز مورد نیاز از اختلاط علف‌کشی (درصد از حداکثر مقدار مصرف‌شده) برای دستیابی به بالاترین مقدار عملکرد دانه کلزا؛ $Y_0(dose_{break-po\,int})$، عرض از مبدا پاسخ بیشینه عملکرد دانه کلزا در شرایط مصرف دز بهینه از اختلاط علف‌کشی به تاریخ کاشت؛ γ و λ، ضرایب معادله درجه دوم توصیف‌کننده پاسخ عملکرد دانه کلزا در شرایط مصرف دز بهینه از اختلاط علف‌کشی به تاریخ کاشت؛ λ، ضریب معادله درجه دوم ؛ $Y_0(dose_{\max})$، عرض از مبدا پاسخ عملکرد دانه کلزا در شرایط مصرف بیشترین دز از اختلاط علف‌کشی به تاریخ کاشت؛ ν، شیب کاهش عملکرد دانه کلزا در شرایط مصرف بیشترین دز از اختلاط علف‌کشی در پاسخ به تاخیر در کاشت؛ $t_{0(Y_{dose(\max)})}$، زمان شروع کاهش خطی عملکرد دانه کلزا در شرایط مصرف بیشترین دز از اختلاط علف‌کشی در پاسخ به تاخیر در کاشت؛ RMSE، ریشه میانگین مربعات خطا و RRMSE، ریشه نسبی میانگین مربعات خطا هستند.

Abbreviation: $Y_0(dose_{\min})$, The Y-intercept (where the curve meets the y axis) response of rapeseed yield to sowing date under the conditions of using the lowest dose of herbicide mixture; δ, Slope of rapeseed yield reduction in response to sowing delay under the condition of using the lowest dose of herbicide mixture; $t_{0(Y_{dose(\min)})}$, The start time of the linear decrease in rapeseed yield under the conditions of using the lowest dose of herbicide mixture; $dose_{(break-po\,int)}$, Required dose of herbicide mixture (percentage of maximum amount applied) to achieve the highest amount of rapeseed yield; $Y_0(dose_{break-po\,int})$, The Y-intercept of the maximum response of rapeseed yield under the conditions of using the optimal dose of herbicide mixing to the sowing date; γ, Coefficients of the quadratic equation describing the yield response of rapeseed under conditions of optimal dosage of herbicide mixing to sowing date; λ, Coefficient of quadratic equation; $Y_0(dose_{\max})$, The width from the origin of the yield response of rapeseed under the conditions of applying the highest dose of herbicide mixture to the sowing date; ν ، lope of rapeseed yield reduction under the condition of applying the highest dose of herbicide mixture in response to sowing delay; $t_{0(Y_{dose(\max)})}$, The start time of the linear decrease of rapeseed yield under the conditions of using the highest dose of herbicide mixture in response to the delay in sowing; RMSE, Root Mean Square Error; and RRMSE, Relative Root Mean Square Error.



شکل ۷- پیش‌بینی عملکرد دانه کلزا در پاسخ به سطوح مختلف دز اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" و تاریخ‌های کاشت (روز از ۲۰ مهر) با برازش مدل ترکیبی (معادله ۱۲) به داده‌های مشاهده‌شده (دایره‌ها)

Figure 7. Prediction of rapeseed yield in response to different levels of herbicide mixing dose "oxadiazon + clopyralid" and sowing dates (day from 20 Mehr) by fitting the combined model (Equation 12) to the observed data (circles)



شکل ۸- پیش‌بینی افت عملکرد دانه کلزا در پاسخ به دز اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" و تاریخ‌های کاشت (روز از ۲۰ مهر)

Figure 8. Predicting the yield loss of rapeseed in response to the herbicide mixing dose "oxadiazon + clopyralid" and sowing dates (day from October 20)

نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج بدست آمده، بیشترین درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز مربوط به ترکیبی از شرایط مصرف دزهای بالاتر اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" و تاریخ‌های کاشت زودتر بود. علاوه بر این، در شرایط کاشت زودتر کلزا، دز کمتری از اختلاط علف‌کشی " اگزادیازون + کلوپیرالید" برای ۵۰ درصد کاهش مجموع زیست‌توده علف‌های هرز لازم بود. کاهش زیست‌توده علف‌های هرز در پاسخ به تاریخ کاشت زودتر و کاربرد دز کامل اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" نشان داد که توان رقابتی علف‌های هرز در این شرایط بسیار کمتر از شرایط کاشت دیرهنگام و مصرف دز کاهش یافته علف‌کش (نسبت‌های کمتر از ۵۰ درصد دز کامل) می‌باشد. در ضمن، زیست‌توده علف‌های هرز در همه سطوح تاریخ کاشت در پاسخ به افزایش دز علف‌کش کاهش یافت. به عبارتی با کاشت زودهنگام کلزا یا افزایش دز کاربرد اختلاط علف‌کشی زیست‌توده علف‌های هرز کاهش یافت. در کشت پاییزه کلزا، با تاخیر در کاشت فلور علف‌های هرز تغییر می‌کند. بطور معمول، علف‌هرز غالب در تاریخ‌های کاشت زودهنگام، پنیرک و در تاریخ‌های کاشت با تاخیر بیشتر خردل وحشی است که در مطالعه حاضر نیز این مورد مشاهده شد. بنابراین، بخشی از کاهش کارایی اختلاط علف‌کشی با تاخیر در کاشت مرتبط با تغییر در ترکیب علف‌های هرز بود. از طرف دیگر، رشد اولیه کلزا در تاریخ‌های تاخیری به دلیل کاهش دما هوا آهسته‌تر است و این شرایط را برای ظهور طیف گسترده‌تری از علف‌های هرز مساعد می‌کند. بر مبنای خروجی‌های مدل، بیشترین افت عملکرد دانه کلزا مربوط به ترکیبی از شرایط مصرف دزهای کمتر اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" و تاریخ‌های کاشت تاخیری بود. کمترین افت عملکرد دانه کلزا با کاربرد دز کامل (۱۰۰ درصد از مقدار مصرف‌شده) اختلاط علف‌کشی "اگزادیازون + کلوپیرالید" بدست نیامد، چرا که کاربرد این دز از اختلاط دو علف‌کش تا حدودی با گیاه‌سوزی و توقف موقت رشد بوته‌های کلزا همراه بود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به دلیل حمایت مالی و معنوی از پایان‌نامه کمال تشکر و قدردانی را دارند.

References

1. Rahnama, A. (2012). Crop loss assessment & canola (*Brassica napus* L.) impact factor analysis in late planting. *Plant Production*, *35*(3), 17-25. [In Persian]
2. Mostafavirad, M. & Mir-Abdolhagh Hazavehei, A. (2010). Evaluation of delayed sowing dates on quantitative and qualitative traits and dry matter remobilization in three winter rapeseed cultivars in Markazi province. *Plant Production*, *33*(1), 49-66. [In Persian]
3. Derakhshan, A. (2019). Building a functional model to simulate the development, growth, and yield of oilseed rape (*Brassica napus* L.). Ph. D. Thesis. Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. [In Persian]
4. Zand, E., Baghestani, M.A., Shimi, P., Nezamabadi, N., Mousavi, M.R. & Mousavi, S.K. (2013). Chemical Weed Control Guideline for Major Crops of Iran. Jihad Daneshgahi of Mashhad Press, Iran. 176 pp. [In Persian]
5. Blackshaw, R.E., Lemerle, D. & Young K.R. (2002). Influence of wild radish on yield and quality of canola. *Weed Science, 50*(3), 344-349.
6. Anonymous. (2021). List of important pests, diseases and weeds of major agricultural crops and recommended methods for their control. Vice President of Pest Control, National Plant Protection Organization, Ministry of Agricultural Jihad. P. 45-101. [In Persian]

7. Shimi, P., Pourazar, R., Ghezeli, F. & Sasanfar, H. (2014). Efficiency of two commercial forms of clopyralid at different doses in controlling canola weeds. *Iranian Journal of Weed Science*, *10*(2), 145-153. [In Persian]
8. Rashidi, A., Elahifard, E., & Tabib, M.H. (2019). Evaluation of the effect of mixing clopyralid with oxadiazon and oxadiargyl on Control of broadleaf weeds in rapeseed (*Brassica napus* L.). *Iranian Plant Protection Research*, *36*(20), 285-299. [In Persian]
9. Karkanis, A., Sarridis, A., Souipas, S., Askianaki, R., Angou, A., Karamoutis, C., Kousi, N., Athanasiadou, D. & Giannoulis, K.D. (2022). Using post-emergence herbicides in combination with the sowing date to suppress *Sinapis arvensis* and *Silybum marianum* in durum wheat. *Agronomy, 12* (10),1-13.
10. Gerhards, R., Messelhauser, M.H., & Sievernich, B. (2022). Suppressing *Alopecurus myosuroides* in winter cereals by delayed sowing and pre-emergence herbicides. *Plant, Soil and Environment*, *68*(6), 290–298.
11. Abyawi, F., Pakdaman, B.S. & Elahifard, E. 2024. Oxadiazon, an herbicide potentially useful in the integrated plant disease management. *Genetics Engineering and Biosafety Journal*, *13*(1), 63-73. [In Persian]
12. Barbieri, G.F., Young, B.G., Dayan, F.E., Streibig, J.C., Takano, H.K., Merotto Jr, A. & Avila L.A. 2022. Herbicide mixtures: interactions and modelling. *Advances in Weed Science*. Special Issue, 1-25.
13. Derakhshan, A., Siadat, S.A. & Bakhshandeh, A.M. 2018. Modeling the interaction of herbicide doses and nitrogen fertilizer on crop and weed biomass production in multiple weed species– wheat interference. *Crop Protection*, *11*(2), 169-184. [In Persian]
14. Knezevic, S.Z., Evans, S.P., Blankenship, E.E., Van Acker, R.C. & Lindquist, J.L. 2002. Critical period for weed control: the concept and data analysis. *Weed Science*, *50*(6), 773-786.
15. Sepahvand, M., Elahifard, E. & Derakhshan, A. 2023. The effect of reduced doses of bentazon +haloxyfop-R-methyl ester and nitrogen fertilizer on broad bean (*Vicia faba* L.) yield. 10th Iranian Weed Science Conference. 27-28 August 2023. Bu-Ali Sina university, Hamedan, Iran.
16. Kamaei, A., Elahifard, E., Siahpoosh, A. & Tabib, M.H. (2021). Tracing the resistance to acetolactate synthase and synthetic auxins in little mallow (*Malva parviflora* L.) in wheat fields of Khuzestan province. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *51*(4), 13-23. [In Persian]
17. Boazar, K., Elahifard, E. & Siahpoosh, A. (2020). Investigating the possibility of reducing dose of bromoxynil+2, 4-D and nitrogen fertilizer in wheat (*Triticum aestivum* L.) in competition with mallow (*Malva* spp.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30*(2), 207-223. [In Persian]
18. Musavi, M.R. (2013). Herbicides: Knowledge and Application. Marze Danesh Press, Iran. 284 pp. [In Persian]
19. von Redwitz, C., Andert, S., Bensch, J., Forster, R., Schatke, M., Strehlow, B. & Ulber, L. 2025. Enhancing arable weed diversity by reduced herbicide dose? *Journal of Crop Health. 77*, 65.
20. Andert, S., Ziesemer, A. and de Mol, F. 2024. The link between farmers' sowing date and herbicide management. *Crop Protection*. *178*(2024), 1-11.