شناسه دیجیتال (DOI): 10.22092/idaj.2021.354835.338

عملکرد خردل هندی (*Brassica juncea* L.) در پاسخ به اسید سالسیلیک و کلوپیرالید در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

سیروس حسن‌نژاد*[۱]، بهمن قهرمانی[۲]، بهمن پاسبان اسلام[۳]، خشنود علیزاده[۴]

۱- گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز ، تبریز، ایران

۳- بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران

۴- موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر اسید سالیسیلیک بر عملکرد و اجزای عملکرد خردل هندی در شرایط آبیاری و عدم آبیاری و دزهای مختلف علف‌کش کلوپیرالید، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت کرت‌های دوبار خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان شرقی در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ اجرا شد. سطوح آبیاری (عدم آبیاری و آبیاری تکمیلی) در کرت‌های اصلی، سطوح اسید سالیسیلیک (شاهد عدم مصرف اسید سالیسیلیک، پیش‌تیمار بذرهای خردل هندی با اسید سالیسیلیک و محلول پاشی با اسید سالیسیلیک سه روز قبل از کاربرد علف‌کش) در کرت‌های فرعی و سطوح کلوپیرالید ((صفر (شاهد عاری از علف‌هرز)، صفر (شاهد آلوده به علف‌هرز)، ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۶ لیتر در هکتار)) در کرت‌های فرعی فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد کاربرد ۰/۴ لیتر در هکتار علف‌کش کلوپیرالید در شرایط عدم آبیاری، بیشترین تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه خردل هندی را باعث شد و از این نظر با شاهد عاری از علف‌هرز تفاوت آماری معنی‌داری نداشت. بیشترین کاهش در تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و عملکرد دانه این گیاه زراعی مربوط به گیاهان تیمار شده با کلوپیرالید ۱/۶ لیتر در هکتار و شاهد آلوده به علف‌هرز در شرایط آبیاری تکمیلی است. پیش‌تیمار بذور با اسید سالیسیلیک، اثرات منفی علف‌کش کلوپیرالید در گیاهان خردل هندی رشد یافته از این بذور را کاهش داد و باعث افزایش تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت گردید. پیش‌تیمار بذور خردل هندی با اسید سالیسیلیک و کاربرد ۰/۴ لیتر در هکتار کلوپیرالید برای کنترل علف‌های‌هرز در شرایط عدم آبیاری، می‌تواند باعث بهبود عملکرد خردل هندی شود.

واژه‌های کلیدی: پیش‌تیمار بذر، تنظیم‌کننده رشد، علف‌کش، محلول‌پاشی.

* نگارنده مسئول: sirous_hassannejad@tabrizu.ac.ir تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۲

مقدمه

خردل هندی (*Brassica juncea* L.)، گیاه دانه‌روغنی یک‌ساله با مصارف داروئی و صنعتی از تیره شب‌بوها (Brassicaceae) است. دانه‌های این گیاه حاوی ۲۵ تا ۵۵ درصد روغن بوده که شامل گلیکوزیدهای نیتروژن‌دار نظیر سینالبین و سینیگرین (آلیل ایزوتیوسیانات)، اسیدهای چرب اشباع نشده و اسید اروسیک می‌باشد (احمدی، ۱۳۹۹). مقدار تولید این گیاه در دنیا حدود ۶۰۰ هزار تن است که حدود یک سوم آن به کانادا اختصاص دارد (FAO, 2020). پراکنش طبیعی انواع تیپ‌های وحشی خردل در سراسر ایران نشان از سازگاری بالای این گیاه با آب و هوای کشور دارد (علیزاده، ۱۳۸۵). گزارش شده که خردل هندی از تحمل بالایی به تنش‌های رطوبتی و گرمایی برخوردار بوده و می‌توانند عملکرد خوبی در مناطق کم‌آب تولید نمایند (فنائی و همکاران، ۱۳۸۸). تحقیقات نشان داده است که تحمل تنش خشکی و به‌طور کلی تحمل شرایط نامساعد در خردل هندی بیشتر از کلزا (*Brassica napus* L.) است (Potts *et al.*, 2003). در شرایط تنش خشکی عملکرد خردل هندی از کلزا بیشتر است، چرا که خردل هندی از تعداد دانه بیشتری در هر خورجین برخوردار است (Wright *et al.*, 2001). عوامل متعددی باعث کاهش ارزش کمی و کیفی محصول خردل هندی می‌شوند، از جمله این عوامل می‌توان به علف‌های‌هرز اشاره کرد (Shekhawat *et al.*, 2012). علف‌های‌هرز با گیاهان زراعی بر سر منابع محیطی محدود مانند مواد غذایی، آب و نور رقابت کرده، باعث کاهش ارزش کمی و کیفی گیاه زراعی می‌شوند (زند و همکاران، ۱۳۸۷). روش‌های مختلفی برای کنترل علف‌های‌هرز وجود دارد، که یکی از این روش‌ها کنترل شیمیایی با علف‌کش‌ها است. انتخاب نوع علف‌کش، دز مصرفی، زمان و مکان کاربرد روی کارایی علف‌کش تاثیرگذار است (حاج‌محمدنیا قالی‌باف و همکاران، ۱۳۹۵). یک علف‌کش ممکن است در دزی خاص کنترل مطلوبی روی علف‌های‌هرز ایجاد کند ولی گیاه زراعی را نیز با تنش روبرو کند.

علف‌کش کلوپیرالید با دو نام تجاری لونترال و واچ برای کنترل علف‌های‌هرز در کلزا ثبت شده، ولی برای خردل هندی ثبت نشده و تحقیقی روی اثرات منفی این علف‌کش روی خردل هندی انجام نشده است. این علف‌کش نوعی پیریدین کربوکسیلیک اسید و اکسین مصنوعی است که به صورت انتخابی و سیستمیک عمل کرده و با اتصال به محل‌های پیوند اسید ایندول استیک طبیعی، سبب اختلال در رشد، پیچ خوردگی، ضخیم و طویل شدن برگ‌ها و ساقه‌های علف‌هرز شده، در مدت ۳ تا ۵ هفته پس از سمپاشی آن را از بین می‌برد (Kloppenburg and Hall, 2006). دز توصیه شده این علف‌کش برای زراعت کلزا، ۰/۶ تا ۰/۸ لیتر در هکتار است (Noorbakhsh *et al.*, 2011). تحقیقات نشان داده مصرف یک لیتر در هکتار از این علف‌کش می‌تواند باعث توقف رشد اندام‌ها و کاهش ۱۰ درصدی ارتفاع کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) گردد (Shimi *et al.*, 2013). از این رو یک علف‌کش توصیه شده برای استفاده در

یک گونه مشخص از یک جنس زراعی ممکن است بسته به دز مصرفی، زمان و مکان، به گونه دیگری از همان جنس خسارت بزند. بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد ۸/۵ میلی‌لیتر در لیتر از علف‌کش پندی متالین می‌تواند بیوماس گیاه داروئی رازیانه را کاهش دهد (El-Awadi and Hassan, 2011)، یا کاربرد علف‌کش ایزوپروتون به میزان ۲/۵ کیلوگرم در هکتار می‌تواند باعث کاهش بیوماس گیاهچه‌های ذرت شود (Nemat Alla *et al*., 2008)، یا هم‌چنین کاربرد علف‌کش استوکلر به میزان ۳/۲ میکرومول در لیتر و بن سولفورون‌متیل به میزان ۰/۹۶ میکرومول در لیتر می‌تواند وزن تر گیاه برنج را کاهش دهد (Langaro *et al*., 2016)، یا علف‌کش ایزوپروتون می‌تواند باعث کاهش معنی‌دار وزن دانه گندم گردد (Singh *et al*., 2013). برای کاهش اثرات منفی علف‌کش‌ها روی گیاهان زراعی می‌توان از مواد ایمن کننده یا تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی استفاده نمود. تنظیم کننده‌های رشد گیاهی در تکمیل فعالیت‌های نموی و پاسخ گیاهان به محیط به‌خصوص در شرایط تنش اهمیت بسزایی دارند (Wani *et al.,* 2016).

تنش‌های غیرزیستی ناشی از عوامل محیطی می‌توانند تأثیر منفی بر جذب و انتقال علف‌کش‌ها داشته باشند (Bendetti *et al.,* 2020). در میان تنش‌های غیرزیستی، خشکی تأثیر عمده‌ای در پاسخ گیاه به علف‌کش‌ها دارد که در مرحله اول سبب کاهش اثربخشی علف‌کش می‌گردد (Bendetti *et al.,* 2020). کاهش کارایی علف‌کش در مواقعی که گیاهان تحت تنش خشکی هستند توسط بسیاری از محققان به اثبات رسیده است (Skelton *et al*., 2016؛ Miller and Norsworthy, 2018؛ Wu *et al.,* 2019). خشکی با ایجاد تغییرات چند جانبه مولکولی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی از جذب و انتقال علف‌کش و متعاقباً رسیدن ماده فعال علف‌کش به محل هدف جلوگیری می‌نماید و در نتیجه گیاه تحت این شرایط زنده می‌ماند (Bendetti *et al.,* 2020). از طرفی دیگر، در گیاهان متحمل به خشکی ضخامت لایه کوتیکولی با ترشح موم‌هایی روی این لایه افزایش یافته، محتوای آب گیاه حفظ شده، نفوذ علف‌کش به گیاه کاهش می‌یابد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۷).

اسید سالیسیلیک، به عنوان تنظیم کننده رشد، در برابر تنش‌های محیطی با افزایش بعضی هورمون‌های گیاهی شامل اکسین و سیتوکینین سبب بهبود رشد، افزایش فتوسنتز و عملکرد و اجزای عملکرد گیاه می‌شود (Al-Ubaidi *et al.,* 2019). این ماده همانند یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی نقش مهمی در واکنش‌های دفاعی گیاه به تنش‌های زیستی و غیرزیستی دارد (Arfan *et al.,* 2007؛ Yuan and Lin, 2008). افزایش سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاه زراعی در ابتدای فصل در پی پیش‌تیمار بذور با اسید سالیسیلیک می‌تواند موجب افزایش قدرت رقابتی گیاه زراعی و کاهش خسارت علف‌های‌هرز گردد (نصیری دهسرخی و همکاران، ۱۳۹۶). به عنوان مثال، پیش-

تیمار بذر با اسید سالیسیلیک توانسته سرعت جوانه-زنی بذور کنجد را افزایش داده، باعث بهبود سبزشدگی و استقرار اولیه گیاه گردید (Ahmad *et al.*, 2019). برخی علت تسریع در جوانه‌زنی بذور پیش‌تیمار را ناشی از فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده مثل آلفا آمیلاز، افزایش سطح انرژی زیستی در قالب افزایش مقدار ATP، افزایش سنتز DNA و RNA، افزایش تعداد و در عین حال ارتقای عملکرد میتوکندری می‌دانند (Afzal *et al.*, 2002). گیاهان ذرت حاصل از بذرهای پیش تیمار می‌توانند با سایه‌اندازی بر روی علف‌های‌هرز مزرعه، بیوماس و تراکم کل علف‌های‌هرز غالب را کاهش داده و باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت گردند (ابوطالبیان و مقیثایی، ۱۳۹۳). در تحقیقات نوریانی (۱۳۹۶)، پیش‌تیمار بذر با غلظت ۰/۱ میلی مولار اسید سالیسیلیک توانست عملکرد دانه کنجد را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شاهد افزایش دهد. در نتایج پژوهش میری‌زاده (۱۳۹۲) نیز بالاترین عملکرد دانه ذرت را در تیمار وجین علف‌هرز و مصرف اسید سالیسیلیک مشاهده کرد.

تاکنون تحقیقی در مورد اثرات اسید سالیسیلیک در افزایش یا کاهش اثر علف‌کش کلوپیرالید روی خردل هندی صورت نگرفته است. این علف‌کش برای مصرف در مزارع خردل هندی در ایران ثبت نشده است، و نمی‌توان دزی که برای مزارع کلزا توصیه شده است را برای این گیاه نیز توصیه کرد. از طرفی کارائی علف‌کش‌ها در کشت دیم با کشت آبی فرق می‌کند. علف‌های‌هرز نیز ممکن است بسته به نوع کشت (دیم یا آبی) رفتار متفاوتی با گیاه زراعی نشان دهند. بر همین اساس، این پژوهش به صورت دو ساله با هدف ارزیابی اثر پیش‌تیمار بذور خردل هندی با اسید سالیسیلیک و محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک ۳ روز قبل از سمپاشی دزهای مختلف علف‌کش کلوپیرالید در شرایط دیم (عدم آبیاری) و آبیاری تکمیلی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت دو ساله در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان شرقی واقع در جاده تبریز-آذرشهر اجرا گردید. این منطقه جزو اقلیم‌های نیمه خشک محسوب می‌شود و با ارتفاع ۱۳۶۰ متر از سطح دریای آزاد، در طول جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه قرار دارد. براساس آمار هواشناسی، این منطقه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم با میانگین بارندگی سالیانه ۲۸۶/۲ میلی‌متر است (سایت اداره کل هواشناسی استان آذربایجان غربی، ۱۳۹۸). طرح آزمایشی مورد استفاده به صورت کرت‌های دو بار خرد شده بر پایه بلوکهای کامل تصادفی در سه تکرار بود. در این آزمایش عامل اصلی شامل آبیاری در دو سطح (عدم آبیاری و آبیاری تکمیلی)، عامل فرعی شامل اسید سالیسیلیک (SA) در سه سطح (شاهد (عدم SA)، پیش‌تیمار بذرهای خردل هندی با SA و محلول پاشی با SA ۳ روز قبل از کاربرد علف‌کش) و عامل فرعی فرعی شامل مقادیر مختلف علف‌کش کلوپیرالید (لونترال) در ۴ سطح (۰ (شاهد)، ۰/۴،

۰/۸ و ۱/۶ لیتر در هکتار) بود. هر واحد آزمایشی به طول ۴ متر و عرض ۳ متر شامل ۵ ردیف کاشت به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از همدیگر در نظر گرفته شد. بذرهای خردل هندی (رقم صادق) از موسسه تحقیقات دیم کشور تهیه و پس از ضدعفونی با بنومیل به نسبت دو در هزار، در هر ردیف به فواصل پنج سانتی‌متر و در عمق یک سانتی‌متری در فصل بهار هر دو سال زراعی کاشته شدند. پس از سبز شدن و استقرار گیاهچه‌ها، بوته‌های موجود در هر واحد آزمایشی تنک گردیده و به حدود ۸۰ بوته در مترمربع رسانده شدند. آبیاری تکمیلی در سه مرحله (یک هفته قبل از پاشش دزهای مختلف علف‌کش، یک هفته بعد از شروع گلدهی، یک هفته بعد از شروع پرشدگی دانه‌ها) انجام شد. در هر مرحله، ابتدا رطوبت مزرعه با دستگاه رطوبت‌سنج (TDR) اندازه‌گیری و با آبیاری به صورت کنترل شده توسط تانکر کنتوردار به حد ظرفیت مزرعه رسانده شد. با توجه به آزمون خاک (جدول ۱)، برای تامین تقریباً ۲۰۰ کیلوگرم ازت خالص در تمامی کرت‌های آزمایشی (عدم آبیاری و آبیاری تکمیلی)، ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) در ۳ نوبت (مرحله ۱ الی ۲ برگی، شروع ساقه‌دهی، شروع گل‌دهی) به کرت‌ها اضافه گردید. سمپاشی با مقادیر مختلف علف‌کش کلوپیرالید در مرحله ۴ تا ۵ برگی خردل هندی اعمال شد. در زمان رسیدگی کامل از هر واحد آزمایشی یک متر مربع (با حذف حاشیه‌ها) برداشت و دانه‌های آن‌ها جدا گردید. بر این اساس محصول دانه در مترمربع تعیین گردید. در پنج بوته برداشت شده از هر کرت تعداد خورجین در بوته نیز شمارش و میانگین آن‌ها برای هر کرت ثبت شد. با تعیین وزن هزار دانه، تعداد دانه در بوته نیز محاسبه گردید. پس از جدا کردن دانه‌ها از بوته‌های برداشت شده از واحد سطح، بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در داخل آونی با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردیده و سپس توزین شدند. در نهایت با اضافه نمودن وزن دانه‌ها، عملکرد بیولوژیکی برای هر واحد آزمایشی هم تعیین گردید. شاخص برداشت نیز از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیکی محاسبه شد.

پس از انجام آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف اسمیرنوف و یکنواختی واریانس‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها صورت گرفت. کلیه تجزیه‌های آماری و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. برای مقایسه میانگین‌ها از روش چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد استفاده گردید. رسم شکل‌ها با نرم‌افزار Excel انجام شد.

نتایج و بحث

تعداد خورجین در بوته خردل هندی:

تعداد خورجین در بوته گیاه خردل هندی تفاوت معنی‌داری در تیمارهای آبیاری، علفکش-کلوپیرالید، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آبیاری × کلوپیرالید داشت (جدول ۲). تعداد خورجین در بوته در تیمار شاهد آلوده به علف‌هرز کمتر از حالت عاری از علف‌هرز بود که تحت شرایط آبیاری میزان این کاهش شدیدتر از تیمارهای عدم آبیاری بود (جدول ۳).

جدول ۱- خصوصیات خاک مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی استان آذربایجان شرقی واقع در جاده تبریز-آذرشهر

عناصر قابل جذب (میلی‌گرم در کیلوگرم)						اجزای معدنی خاک (٪)		بافت
P	K	Cu	Fe	Zn	Mn	رس	سیلت	شن	خاک
۱۵/۲	۲۶۳	۰/۸۱	۳/۲	۰/۸۵	۳/۳۸	۱۱	۱۵	۷۰	لوم شنی

هدایت الکتریکی				
عمق خاک (cm)	pH	EC (میکرو زیمنس بر سانتیمتر) (×۱۰۰۰)	درصد مواد خنثی شونده (T.N.V.)	درصد کربن آلی (% OC)	درصد نیتروژن کل
۳۴-۰	۷	۳/۵۶	۱۲/۵	۰/۴۵	۰/۰۷

تعداد خورجین در بوته در تیمار شاهد آلوده به علف‌هرز کمتر از حالت عاری از علف‌هرز بود که تحت شرایط آبیاری میزان این کاهش شدیدتر از تیمارهای عدم آبیاری بود (جدول ۳). با استفاده از تیمار ۰/۵ و ۱ برابر دز توصیه شده، علف‌کش کلوپیرالید تعداد خورجین در بوته خردل هندی نسبت به تیمار آلوده به علف‌هرز افزایش یافت، ولی استفاده از دز بالای این علف‌کش (۲ برابر دز توصیه شده در هکتار) سبب کاهش این صفت شد (جدول ۳). حداقل تعداد خورجین در بوته خردل هندی در شرایط آبیاری تکمیلی و از بوته‌های آلوده به علف‌هرز بدست آمد (جدول ۳). اسید سالیسیلیک در گیاهان محلول‌پاشی شده و پیش-تیمار باعث افزایش تعداد خورجین در بوته خردل هندی شد، بیشترین افزایش تعداد خورجین در بوته مربوط به گیاهان حاصل از بذور پیش تیمار با اسید سالیسیلیک بود (جدول ۴).

تراکم و بیوماس بالای علف‌های‌هرز تحت شرایط آبیاری باعث افت شدید تعداد خورجین در بوته خردل هندی نسبت به حالت عدم آبیاری شد. با این حال، در تیمار عدم آبیاری نیز به علت عدم استفاده از علف‌کش و آلودگی به علف‌های‌هرز تعداد خورجین در بوته کاهش یافت که این امر می‌تواند ناشی از کاهش ارتفاع گیاه در پی آلودگی به علف‌های‌هرز باشد (جدول ۳). تعداد خورجین در گیاه با عناصر غذایی، رطوبت کافی و میزان رشد رویشی گیاه مرتبط است. دلیل کاهش تعداد خورجین در بوته در اثر رقابت با علف‌های‌هرز می‌تواند ناشی از رقابت علف‌های‌هرز با خردل هندی بر سر دریافت نور و مواد غذائی و همچنین تخصیص کمتر مواد پرورده به اندام‌های زایشی باشد. گزارش شده جهت حفظ تعادل بین میزان مواد تولیدی منبع و میزان مصرف مواد، تعدادی از گلها ریزش می‌کند که این کاهش تعداد گل در نهایت سبب کاهش تعداد خورجین در گیاه می‌شود (Chen *et al.*, 2018). تحقیقات نشان داده که کلزا در رقابت با علف‌های‌هرز، کاهش معنی‌داری در تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین نشان می‌دهد (Lemerle *et al.*, 2017). کاهش معنی‌دار تعداد خورجین در بوته در

تیمارهای آلوده به علف‌هرز در تحقیقات وحیدپور و همکاران (۱۳۹۹) و دارامولا (۲۰۲۰) نیز گزارش شده است. شاید بتوان افزایش تعداد خورجین در بوته در پی کاربرد اسید سالیسیلیک را به بهبود صفات فیزیولوژیکی و نیز ارتفاع گیاه نسبت داد. تحقیقات نشان داده کاربرد اسید سالیسیلیک می‌تواند از طریق افزایش پایداری غشا، هدایت روزنه‌ای و باز نگه داشتن روزنه‌ها از تجمع یون‌های سمی جلوگیری نماید و در نهایت با افزایش سرعت فتوسنتز و مواد فتوسنتزی سبب افزایش تعداد خورجین در بوته شود (Hayata *et al.*, 2010).

جدول ۲- تجزیه واریانس مرکب اجزای عملکرد و عملکرد خردل هندی تحت تیمارهای مختلف آبیاری، علف‌کش کلوپیرالید و سالیسیلیک اسید در دو سال (سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)

		میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت
سال (Y)	۱	۷۸/۶۵ ns	۰/۷۸ ns	۰/۰۰۱ ns	۲۳۶۵۸۴/۵۸ ns	۲۲۲۷۱/۱۷ ns	۴/۱۶ ns
تکرار در سال	۴	۴۷/۴۰ ns	۰/۶۵ ns	۰/۰۴۴ ns	۳۹۷۲۸/۳۳ ns	۳۵۲۳۶/۸۲ ns	۶۳/۸۷*
آبیاری (A)	۱	۱۰۶۶/۴۸**	۵/۲۳**	۲/۶۴**	۶۵۸۴۷۲۵/۰۵**	۴۷۰۵۳۳/۱۶**	۱۲۵/۹۶**
Y × A	۱	۱۰۲/۳۰ ns	۱/۴۷ ns	۰/۰۰۱ ns	۳۶۵۸۴/۵۴ ns	۲۰۵۶۳/۷۴ ns	۸/۲۹ ns
خطا	۴	۸/۶۸ ns	۰/۷۷ ns	۰/۰۵۶ ns	۳۰۴۵۴۸/۷۲ ns	۱۰۲۸۲/۷۲ ns	۶/۶۹ ns
کلوپیرالید (B)	۴	۳۳۵/۰۸**	۱۲/۶۵**	۱۱/۰۵**	۴۷۰۵۳۶/۳۶**	۵۸۳۶۵۷/۰۹ **	۱۰۸/۲۹**
Y × B	۴	۳۷/۶۵ ns	۰/۳۵ ns	۰/۰۰۱ ns	۶۵۰۳/۳۷ ns	۲۳۶۷/۵۳ ns	۱۲/۸۲ ns
A × B	۴	۸۶/۷۷**	۱/۷۸**	۱/۰۵۳**	۴۵۸۵/۲۰ ns	۲۵۶۰۶۴/۱۶**	۲۳/۶۴ ns
Y × A × B	۴	۴۰/۶۵ ns	۰/۵۴ ns	۰/۰۰۱ ns	۱۰۵۶۷/۰۴ ns	۱۰۲۵۸/۸۳ ns	۶/۱۵ ns
خطا	۱۶	۱۷/۸۷ ns	۱/۲۵ ns	۰/۰۷۶ ns	۶۵۸۴۳/۰۸ ns	۱۱۶۸۰/۰۸ ns	۵/۵۶ ns
اسید سالیسیلیک	۲	۳۶۸/۳۷**	۸/۱۸**	۸/۴۷**	۳۶۵۴۶۸/۳۲**	۷۸۵۴۰۰/۰۴**	۸۹/۴۴*
Y × C	۲	۸۸/۳۰ ns	۰/۷۵ ns	۰/۰۲ ns	۲۴۵۴۱/۲۴ ns	۳۰۸۵/۱۲ ns	۱۸/۴۵ ns
A × C	۲	۶۵/۲۰ ns	۰/۲۲ ns	۰/۰۳۶ ns	۵۰۳۲۳/۷۴ ns	۴۵۲۰۵/۲۵ ns	۲۲/۲۰ ns
Y × A × C	۲	۶۶/۵۷ ns	۰/۳۴ ns	۰/۰۰۵ ns	۱۲۷۶/۲۵ ns	۲۰۵۷/۴۷ ns	۱۰/۰۲ ns
B × C	۸	۶۸/۵۷ ns	۰/۶۰ ns	۰/۰۰۲ ns	۱۰۸۲۲۰/۳۷**	۱۰۷۸۲۵/۴۲*	۲۱/۳۶ ns
Y × B × C	۸	۸۶/۰۲ ns	۰/۵۵ ns	۰/۰۳۳ ns	۲۲۷۴/۲۰ ns	۱۰۰۸۷/۶۴ ns	۸/۴۷ ns
A × B × C	۸	۵۴/۲۵ ns	۰/۸۸ ns	۰/۰۰۱ ns	۲۳۲۶۵/۰۴**	۲۳۵۵۶/۴۴ ns	۹۸/۰۸*
Y × A × B × C	۸	۲۳/۸۷ ns	۰/۶۸ ns	۰/۰۴۰ ns	۱۸۰۳۶/۰۸ ns	۴۵۶۲/۱۲ ns	۱/۷۷ ns
خطا	۹۶	۲۲/۱۵ ns	۲/۵۴ ns	۰/۰۸۷ ns	۳۵۶۸۲/۷۷ ns	۲۱۴۵۳/۵۶ ns	۲/۳۵ ns
ضریب تغییرات		۵/۰۸	۱۰/۴۷	۶/۸۴	۴/۳۶	۵/۶۵	۷/۴۷

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

تعداد دانه در خورجین: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تیمارهای آبیاری، علف‌کش کلوپیرالید و اسید سالیسیلیک و نیز اثر متقابل آبیاری × کلوپیرالید بر تعداد دانه در خورجین گیاهان خردل هندی معنی‌دار است (جدول ۲). کاربرد علف‌کش کلوپیرالید به مقدار ۰/۴ و ۰/۸ لیتر در هکتار تحت در شرایط دیم (عدم آبیاری) و آبیاری تکمیلی با کنترل علف‌های‌هرز و حذف تداخل علف‌هرز با گیاه زراعی توانست تعداد دانه

جدول ۳- مقایسه میانگین تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه گیاه خردل هندی در واکنش به اثر متقابل آبیاری × علف‌کش کلوپیرالید

	تیمار	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد دانه
عدم آبیاری	شاهد (عاری از علف‌هرز)	۹۴/۶۳ a	۱۶/۸۱ a	۵/۸۰ a	۱۲۱۶ a
	شاهد (آلوده به علف‌هرز)	۶۸/۵۶ de	۵/۷۰ c	۳/۷۲ b	۸۷۳۸ b
	کلوپیرالید ۰/۴ لیتر در هکتار	۹۲/۶۰ a	۱۷/۷۹ a	۵/۷۹ a	۱۳۶۳ a
	کلوپیرالید ۰/۸ لیتر در هکتار	۸۹/۵۵ ab	۱۳/۷۷ ab	۴/۷۵ ab	۱۱۱۳ ab
	کلوپیرالید ۱/۶ لیتر در هکتار	۷۲/۵۰ d	۸/۶۸ bc	۲/۶۶ bc	۷۸۶۵ bc
آبیاری تکمیلی	شاهد (عاری از علف‌هرز)	۸۹/۵۶ ab	۱۴/۷۶ ab	۴/۳۶ ab	۱۱۸۴ ab
	شاهد (آلوده به علف‌هرز)	۵۲/۲۲ g	۱/۶۴ d	۰/۴۲ d	۳۶۸۹ d
	کلوپیرالید ۰/۴ لیتر در هکتار	۸۵/۴۹ b	۱۲/۷۷ ab	۳/۷۲ b	۱۲۱۲ ab
	کلوپیرالید ۰/۸ لیتر در هکتار	۸۱/۴۱ bc	۱۰/۷۴ b	۳/۶۹ b	۱۲۵۶ ab
	کلوپیرالید ۱/۶ لیتر در هکتار	۶۰/۰۶ f	۵/۳۷ c	۱/۵۸ c	۶۶۴۵ c

حروف متفاوت در هر ستون نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

جدول ۴- مقایسه میانگین تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین و وزن هزار دانه گیاه خردل هندی تحت تیمارهای مختلف اسید سالیسیلیک

تیمار	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزار دانه (گرم)
شاهد (عدم مصرف اسید سالیسیلیک)	۷۹/۶۳ c	۲۰/۸۱ c	۴/۸۷ c
محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک	۸۲/۵۶ b	۲۵/۷۳ b	۵/۷۴ b
پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک	۸۷/۶۰ a	۲۹/۷۹ a	۷/۷۶ a

حروف متفاوت در هر ستون نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

در خورجین خردل هندی را نسبت به تیمارهای آلوده به علف‌هرز افزایش دهد، ولی با افزایش دز این علف‌کش به ۱/۶ لیتر در هکتار کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد (عاری از علف‌هرز) نشان دهد (جدول ۳). همچنین آلودگی به علف‌های هرز کاهش معنی‌داری در تعداد دانه در خورجین خردل هندی داشت. در گیاهان محلول-پاشی شده با اسید سالیسیلیک، به خصوص گیاهان رشد یافته از بذور پیش‌تیمار با این هورمون، تعداد دانه در خورجین افزایش معنی‌داری نسبت به تیمارهای عدم استفاده از اسید سالیسیلیک داشت (جدول ۴). از دلایل کاهش تعداد دانه در خورجین در تیمار شاهد آلوده به علف‌هرز می‌توان به کاهش دریافت مواد پرورده توسط گیاه زراعی و در نتیجه چروکیده شدن و از بین رفتن دانه‌ها اشاره کرد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۹). شاید بتوان گفت با افزایش تداخل، رقابت بین علف‌های هرز و خردل هندی برای جذب منابع محیطی بیشتر شده و به

دنبال آن، میزان تولید مواد فتوسنتزی و انتقال این مواد به دانه‌ها کاهش یافته و در نهایت دانه‌های موجود در خورجین کمتر می‌شود. نتایج تحقیقات دیگر پژوهشگران با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد، چراکه برخی محققین معتقدند فشار رقابتی زیاد از سوی علف‌های‌هرز به گیاه زراعی ذرت باعث کاهش دسترسی ذرت به آب و عناصر غذایی، کاهش تعداد دانه در ردیف و متعاقب آن کاهش تعـداد دانه در بلال می‌گردد (عباس‌دخت و اصغرنیا، ۱۳۹۴). گزارش شده افزایش رقابت سبب کاهش تعداد دانه در خورجین می‌شود، چراکه در تراکم‌های بالاتر، به دلیل رقابت زیاد بین دانه‌های در حال نمو جهت دریافت مواد پرورده، بسیاری از دانه‌ها در ابتدای تکامل چروکیده شده و از بین رفته، در نتیجه تعداد دانه در خورجین کاهش می‌یابد (Lemerle *et al.,* 2017). تعداد دانه در خورجین از اجزای تعیین کننده عملکرد بوده که با افزایش آن، مخزن برای مواد فتوسنتزی تولیدی گیاه بزرگتر شده و نهایتاً عملکرد افزایش می‌یابد (Lemerle *et al.,* 2017). در این بررسی نیز دلیل کاهش تعداد دانه در خورجین در تیمارهای تداخل علف‌هرز در مقایسه با تیمارهای حذف علف‌هرز در پی استفاده از علف‌کش، احتمالاً به دلیل رقابت شدید خردل هندی با علف‌های‌هرز بر سر منابع رشد، بخصوص در دوران پر شدن دانه می‌باشد که سبب از بین رفتن تعدادی از دانه‌ها در ابتدای تکامل و در نتیجه کاهش تعداد دانه در خورجین شده است. اسید سالیسیلیک نیز با افزایش تعداد خورجین در بوته (جدول ۴)، باعث افزایش تعداد دانه در خورجین شد. میری‌زاده (۱۳۹۲) اظهار داشت در تیمار ۲ لیتر در هکتار علف‌کش، مصرف اسید سالیسیلیک به‌طور معنی‌داری می‌تواند تعداد دانه در ردیف بلال ذرت را افزایش دهد. به نظر این محقق مصرف اسید سالیسیلیک تنش حاصل از کاربرد علف‌کش را کاهش داده و باعث بهبود رشد گیاه و در نهایت افزایش تعداد دانه در ردیف بلال می‌گردد. افزایش تعداد دانه در نیام ماش (Akbari *et al.,* 2018) و لوبیا (Karami Chame *et al.,* 2016) نیز گزارش شده است.

وزن هزار دانه: وزن هزار دانه خردل هندی به طور معنی‌داری متأثر از تیمار آبیاری، علف‌کش کلوپیرالید، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آبیاری × کلوپیرالید گردید (جدول ۲). بیشترین وزن هزار دانه از تیمارهای شاهد عاری از علف‌هرز و استفاده از مقدار ۰/۴ لیتر در هکتار علف‌کش کلوپیرالید تحت شرایط عدم آبیاری بدست آمد که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار ۰/۸ لیتر در هکتار کلوپیرالید تحت شرایط عدم آبیاری و نیز تیمار شاهد عاری از علف‌هرز در شرایط آبیاری تکمیلی نداشت (جدول ۳). کمترین وزن هزار دانه نیز در تیمار آلوده به علف‌هرز در شرایط انجام آبیاری تکمیلی مشاهده شد (جدول۳). بین تیمارهای مربوط به کاربرد اسید سالیسیلیک، بیشترین وزن هزار دانه در گیاهان خردل هندی رشد یافته از بذور پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک بدست آمد (جدول ۴). افزایش وزن هزار دانه خردل هندی در تیمارهای مربوط به کاربرد علف‌کش کلوپیرالید در مقادیر ۰/۴ و ۰/۸ لیتر در هکتار نسبت به شاهد آلوده به علف‌هرز، می‌تواند به دسترسی بیشتر

خردل هندی به آب و عناصر غذایی باشد. این موضوع بیان کننده عدم وجود رقابت برای منابع غذایی بین گیاه زراعی و علف‌هرز در طول مرحله پر شدن دانه در گیاه زراعی است. با توجه به این که وزن هزار دانه به میزان کربوهیدرات ذخیره شده در شروع پر شدگی دانه و ژنوتیپ گیاه بستگی داشته و کمبود عناصر غذائی موجود در خاک در زمان پر شدگی دانه سبب کاهش وزن آن می‌شود، دلیل کاهش وزن هزار دانه را می‌توان به تشکیل دانه‌های کوچک‌تر در پی کاهش دسترسی گیاه به عوامل محیطی به ویژه نور در اثر رقابت زیاد بین بوته‌های گیاه زراعی وعلف‌های-هرز، کاهش تولید مواد فتوسنتزی و در نهایت انتقال مواد فتوسنتزی کمتر به دانه‌ها به ویژه در زمان پر شدن آنها نسبت داد (Hussain *et al.*, 2020). اثرات مثبت اسید سالیسیلیک در افزایش وزن هزار دانه نیز ممکن است نتیجه افزایش انتقال مواد فتوسنتزی در دوره پر شدگی دانه‌ها باشد (Ahmad *et al.*, 2019).

عملکرد بیولوژیک: آبیاری، علف‌کش کلوپیرالید و اسید سالیسیلیک تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک خردل هندی داشت (جدول ۲). اثر متقابل کلوپیرالید × اسید سالیسیلیک و آبیاری × کلوپیرالید × اسید سالیسیلیک نیز بر عملکرد بیولوژیک این گیاه معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از کاهش بیشتر عملکرد بیولوژیک خردل هندی در شاهد آلوده به علف‌هرز و عدم استفاده از اسید سالیسیلیک تحت شرایط آبیاری تکمیلی نسبت به حالت دیم (عدم آبیاری) است (شکل ۱). دلیل این امر شاید ناشی از تراکم و بیوماس بالای علف‌هرز و تأثیر بیشتر آنها در کاهش عملکرد بیولوژیک تحت شرایط آبیاری تکمیلی باشد. استفاده از علف‌کش کلوپیرالید به مقدار ۰/۴ و ۰/۸ لیتر در هکتار باعث کنترل علف‌های‌هرز و در نتیجه افزایش عملکرد بیولوژیک خردل هندی نسبت به شاهد آلوده به علف‌هرز شد (شکل ۱)، در حالی‌که با افزایش دز مصرفی علف‌کش کلوپیرالید و رساندن آن به ۲ برابر دز توصیه شده برای کلزا (۰/۸ لیتر در هکتار)، یعنی ۱/۶ لیتر در هکتار، علی‌رغم کنترل بالای علف‌های‌هرز، عملکرد بیولوژیکی خردل هندی کاهش یافت که این کاهش در شرایط آبیاری تکمیلی بیشتر از عدم آبیاری بود (شکل ۱). این امر نیز می‌تواند به دلیل اثرگذاری بالای علف‌کش‌ها و عملکرد بالای آنها در شرایط آبیاری مطلوب نسبت به حالت کمبود آب باشد. کاهش عملکرد بیولوژیک خردل هندی در شاهد آلوده به علف‌هرز را می‌توان به رقابت علف‌های‌هرز در استفاده از منابع مشترک با گیاه زراعی نسبت داد که در نهایت باعث کاهش عملکرد گیاه زراعی می‌شوند.

با مصرف اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی و پیش‌تیمار بذر، عملکرد بیولوژیک خردل هندی افزایش یافت، این افزایش در گیاهان خردل هندی رویش یافته از بذور پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک بیشتر بود (شکل ۱). بهبود عملکرد بیولوژیک خردل هندی در پی محلول‌پاشی و پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک ممکن است با اثرات تنظیمی هورمون‌ها بر رشد و نمو گیاه مرتبط باشد. در همین

راستا، محققان اظهار داشتند کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط آلوده به علف‌های‌هرز با تاثیر بر رشد ذرت و افزایش قدرت رقابتی آن با علف‌های‌هرز، معادل تیمارهایی که علف‌کش در آنها استفاده شده، عملکرد بیولوژیک را افزایش می‌دهد (میری‌زاده، ۱۳۹۲). اسید سالیسیلیک با افزایش میزان کلروفیل در برگ‌هایی که در آغاز فرآیند پیری هستند، می‌تواند سبب افزایش رشد شود (طریق الاسلامی و همکاران، ۱۳۹۶). بذور پیش‌تیمار پس از قرار گرفتن در بستر خود زودتر جوانه‌زده و در نتیجه استقرار گیاهان حاصل از این بذور، سریع‌تر، بهتر و در عین حال یکنواخت‌تر بوده (Ahmad *et al.*, 2019)، رقابت با علف‌های‌هرز بهتر می‌شود. در واقع گیاهی که حاصل رشد بذور پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک است در مقایسه با گیاه رویش یافته از بذور معمولی (پیش‌تیمار نشده با اسید سالیسیلیک) در مدت زمان کوتاه‌تری سیستم ریشه‌ای خود را گسترش داده و با جذب مطلوب‌تر آب، مواد غذایی، نور و تولید اندام فتوسنتز کننده به مرحله خودکفایی می‌رسد. از طرفی رسیدن به چنین شرایطی گیاه را از لحاظ زیستی و اکولوژیک در موقعیت مناسب قرار می‌دهد (Tani *et al.*, 2020). بنابراین با راهکارهای ساده و موثر مانند پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک می‌توان بر قدرت رقابتی خردل هندی با علف‌های‌هرز را افزوده و باعث افزایش عملکرد بیولوژیک آن شد.

عملکرد دانه: تجزیه واریانس داده‌ها نشان از معنی‌داری اثر آبیاری، علف‌کش کلوپیرالید و سالیسیلیک اسید و اثر متقابل آبیاری × کلوپیرالید و کلوپیرالید × اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه خردل هندی داشت (جدول ۲). عملکرد دانه خردل هندی در شرایط آبیاری تکمیلی تفاوت معنی‌داری با شرایط عدم آبیاری نداشت، با این حال در شاهد آلوده به علف‌هرز مقدار افت عملکرد دانه تحت شرایط آبیاری تکمیلی بیشتر بود (جدول ۳).

علف‌کش کلوپیرالید در دزهای کاهش یافته و توصیه شده، به ترتیب دز ۰/۴ و ۰/۸ لیتر در هکتار، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه خردل هندی نداشت، ولی با افزایش دز علف‌کش به ۱/۶ لیتر در هکتار در هر دو شرایط آبیاری تکمیلی و عدم آبیاری کاهش معنی‌داری در این صفت مشاهده شد (جدول ۳). بیشترین عملکرد دانه در گیاهان رشد یافته از بذور پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک در شاهد عاری از علف‌هرز و کمترین مقدار آن در گیاهان رشد یافته از بذور معمولی (پیش‌تیمار نشده با از اسید سالیسیلیک) در شاهد آلوده به علف‌هرز بدست آمد (شکل ۲). عملکرد بالای خردل هندی در تیمارهای ۰/۴ و ۰/۸ لیتر در هکتار کلوپیرالید نسبت به شاهد آلوده به علف‌هرز می‌تواند به کنترل حداکثری علف‌های‌هرز و کاهش رقابت آنها با خردل هندی در این تیمار و متعاقباً افزایش جریان مواد مغذی به سوی دانه و افزایش عملکرد دانه خردل هندی مربوط باشد. وانگ و همکاران (۲۰۱۹) نیز کنترل مطلوب علف‌های‌هرز با استفاده از علف‌کش‌های پیش رویشی را عامل افزایش عملکرد دانه کلزا گزارش کرده‌اند.

شکل ۱- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیک گیاه خردل هندی در واکنش به اثر متقابل آبیاری × کلوپیرالید × اسید سالیسیلیک. حروف متفاوت در هر ستون نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد می‌باشد.

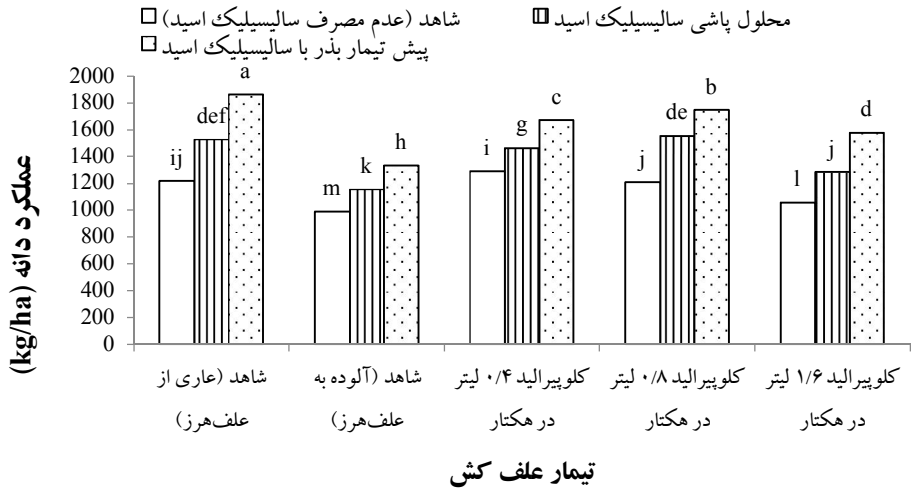
اسید سالیسیلیک نیز با افزایش بعضی هورمون‌های گیاهی همچون اکسین و سیتوکینین باعث بهبود رشد و افزایش فتوسنتز شده، روی عملکرد و اجزای عملکرد تاثیرگذار است (Al-Ubaidi *et al.*, 2019). به‌نظر می‌رسد گیاهان حاصل از بذور پیش‌تیمار با آب یا اسید سالیسیلیک از طریق بهبود رشد ذرت و افزایش قدرت رقابت آن با علف-های‌هرز و تیمار کاربرد علف‌کش از طریق کنترل مطلوب علف‌هرز، زمینه افزایش معنی‌دار عملکرد دانه ذرت را فراهم آورده است (ابوطالبیان و مقیثایی، ۱۳۹۳). در همین راستا، میری‌زاده (۱۳۹۲) بالاترین عملکرد دانه ذرت را در شاهد عاری از علف‌هرز و مصرف اسید سالیسیلیک و کمترین عملکرد دانه را در شاهد آلوده به علف‌هرز مشاهده کرد. تحقیقات نشان داده عدم کنترل علف‌های‌هرز می‌تواند اثرات منفی شدیدی بر رشد زایشی و عملکرد دانه ذرت گذاشته، کاهشی ۶۳/۳ درصدی در عملکرد دانه ذرت در شاهد آلوده به علف‌هرز را باعث شود (روانگرد و همکاران، ۱۳۹۴). نصیری دهسرخی و همکاران (۱۳۹۶)، در پژوهشی توانستند عملکرد دانه لوبیا چشم بلبلی را در تیمارهای ترکیبی پیش‌تیمار + وجین و پیش‌تیمار + دز کاهش‌یافته علف‌کش تریفلورالین به اندازه دز توصیه شده علف‌کش و یا وجین تمام فصل علف-هرز، افزایش دهند (نصیری دهسرخی و همکاران، ۱۳۹۶). در تحقیقات نوریانی (۱۳۹۶)، پیش‌تیمار بذور کنجد با اسید سالیسیلیک عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت کنجد را به-طور میانگین ۱۱/۵ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد.

شاخص برداشت: شاخص برداشت در گیاه خردل هندی به طور معنی‌داری متأثر از تیمار

آبیاری، علف‌کش کلوپیرالید، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل آبیاری × کلوپیرالید × اسید سالیسیلیک گردید (جدول ۲). همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود شاخص برداشت خردل هندی تحت شرایط آبیاری تکمیلی و عدم آبیاری تفاوت معنی‌داری نشان داد، ولی استفاده از علف‌کش کلوپیرالید به میزان ۱/۶ لیتر در هکتار باعث کاهش شاخص برداشت خردل هندی شد که این کاهش در شرایط آبیاری تکمیلی بیشتر بود. با این حال با کاربرد ۰/۴ و ۰/۸ لیتر در هکتار از این علف‌کش شاخص برداشت در گیاه خردل هندی نسبت به شاهد آلوده به علف‌هرز افزایش یافت (شکل ۳). کمترین شاخص برداشت در شرایط آبیاری تکمیلی در گیاهان خردل هندی رشد یافته در شرایط آلوده به علف‌هرز حاصل شد (شکل ۳).

پیش‌تیمار بذر و محلول‌پاشی گیاهان با اسید سالیسیلیک مقدار شاخص برداشت را افزایش داد که بالاترین میزان آن در گیاهان حاصل از بذور پیش‌تیمار شده بدست آمد (شکل ۳).

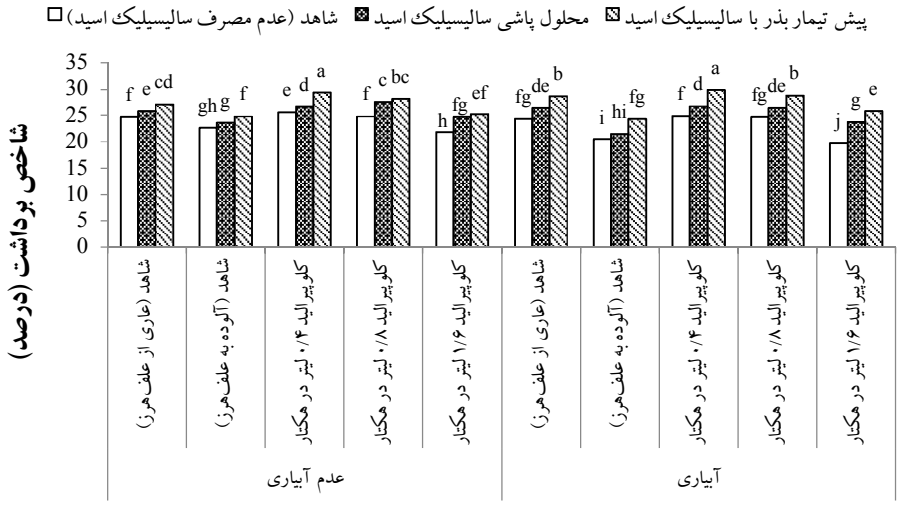
شاخص برداشت معیاری از درصد تخصیص مواد فتوسنتزی به دانه‌ها بوده، میزان توزیع ماده خشک بین قسمت‌های مختلف را نشان داده و تعیین کننده عملکرد اقتصادی گیاه است. به‌نظر می‌رسد هرگونه عملیاتی زراعی همچون پیش‌تیمار بذور، وجین و یا کاربرد علف‌کش که باعث بهبود وضعیت رشدی گیاه زراعی می‌شود می‌تواند زیست‌توده علف‌های‌هرز را به‌مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش داده و شاخص برداشت را افزایش دهد.



شکل ۲- مقایسه میانگین عملکرد دانه گیاه خردل هندی در واکنش به اثر متقابل کلوپیرالید × اسید سالیسیلیک.
حروف متفاوت در هر ستون نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

با تلفیق این روش‌ها، همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، گیاهان خردل هندی رشد یافته از بذور پیش‌تیمار با اسید سالیسیلیک در صورت رشد در کرت‌هایی که ۰/۴ لیتر در هکتار (دز کاهش یافته) علف‌کش کلوپیرالید مصرف شده بیشترین شاخص برداشت را داشتند. لذا استفاده از مقادیر

کاهش یافته (نصف دز توصیه شده) علف‌کش کلوپیرالید همراه با پیش‌تیمار بذور می‌تواند گامی موثر در جهت کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف علف‌کش‌ها و حصول عملکرد مطلوب باشد. پودینه و همکاران (۱۳۹۸) نیز در بررسی‌های خود نشان دادند که استفاده از تکنیک پیش‌تیمار بذر با اسید سالیسیلیک به همراه مصرف علف‌کش نیکوسولفورون و نیز اعمال یکبار وجین علف‌های‌هرز، می‌تواند در کنار کنترل مطلوب علف‌های‌هرز باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شود.



شکل ۳- مقایسه میانگین شاخص برداشت گیاه خردل هندی در واکنش به اثر متقابل آبیاری × کلوپیرالید × اسید سالیسیلیک.
حروف متفاوت در هر ستون نشانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

نتیجه گیری

بین عملکرد و اجزای عملکرد خردل هندی در شرایط عدم آبیاری و آبیاری تکمیلی تفاوت معنی-داری وجود نداشت. تنش زیستی ناشی از آلودگی به علف‌های‌هرز و غیرزیستی ناشی از کاربرد ۲ برابر دز توصیه شده علف‌کش کلوپیرالید (۱/۶ لیتر در هکتار) در هر دو آزمایش، عملکرد دانه و اجزای عملکرد (تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک، عملکرد دانه و شاخص برداشت) را کاهش داد که این کاهش تحت شرایط آبیاری تکمیلی شدیدتر بود. استفاده از مقدار ۰/۵ و ۱ برابر دز توصیه شده علف‌کش کلوپیرالید (به ترتیب ۰/۴ و ۰/۸ لیتر در هکتار) با کاهش آلودگی علف‌های‌هرز سبب افزایش این صفات در گیاهان خردل هندی نسبت به گیاهان آلوده به علف‌هرز گردید. کاربرد اسید سالیسیلیک به صورت محلول‌پاشی و پیش تیمار بذر نیز توانست عملکرد دانه و اجزای آن را در گیاهان خردل هندی بهبود بخشد، که بین این دو روش نقش پیش‌تیمار بذر در بهبود صفات مورفولوژیکی خردل هندی قابل توجه بود.

منابع

آذرخشی مریم، فرزادمهر جلیل، اصلاح مهدی، صحابی حسین. ۱۳۹۲. بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی بارش و پارامترهای دما در مناطق مختلف آب و هوایی ایران. مرتع و آبخیزداری، ۶۶: ۱۶-۱.

ابوطالبیان محمدعلی، مقیثایی فاطمه. ۱۳۹۳. اثر پرایمینگ بذر در مزرعه و شیوه کاربرد کود سولفات روی بر خصوصیات سبز شدن، عملکرد و اجزای عملکرد دو هیبرید ذرت در همدان. به زراعی کشاورزی، ۳ (۱۶): ۶۹۲-۶۷۵.

احمدی مهرزاد. ۱۳۹۹. خردل هندی (*Brassica juncea* L.) گیاه روغنی مناسب برای کشت در مناطق گرم و خشک ایران. مجله ترویجی گیاهان دانه روغنی، ۲ (۲): ۷۴-۸۳.

پودینه امین الله، مکاریان حسن، عباس‌دخت حمید، برادران فیروزآبادی مهدی، نصیری دهسرخی عباس. ۱۳۹۸. تاثیر پرایمینگ بذر و مدیریت علف‌های هرز بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mayz* L.). فصلنامه علوم به زراعی گیاهی، شماره ۱: ۲۶-۱۵.

حاج محمدنیا قالیباف کمال، راشد محصل محمدحسن، نصیری محلاتی مهدی، زند اسکندر. ۱۳۹۴. بهینه‌سازی کارایی علف‌کش نیکوسولفورون با افزودن ترکیبات نیتروژنه تحت تأثیر تغییرات کیفیت آب در تانک سمپاشی. مجله پژوهش علف‌های هرز، ۷ (۲): ۵۳-۷۰.

روانگرد شهلا، نصری محمد، صادقی فرشاد. ۱۳۹۴. بررسی کاربرد توام روش‌های کنترل علف‌های‌هرز و کود زیستی تثبیت کننده نیتروژن در کنترل علف‌هرز ذرت سینگل کراس ۷۰۴. پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر، ۳: ۲۱۰-۱۹۷.

زند اسکندر، موسوی سید کریم، حیدری احمد. ۱۳۸۷. علف‌کش‌ها و روش‌های کاربرد آنها_ با رویکرد بهینه‌سازی و کاهش مصرف. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، چاپ اول، ۵۷۲ صفحه.

عباس‌دخت حمید، اصغرنیا مسعود. ۱۳۹۴. عملکرد و اجزای عملکرد ذرت متاثر از کنترل علف‌های‌هرز، اسموپرایمینگ و محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی. نشریه علمی- پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، ۲ (۳۴): ۳۲۲-۳۰۷.

علیزاده، خ. ۱۳۸۵. بررسی سازگاری ارقام کلزا و خردل با استفاده از تجزیه تغییرات مکانی در شرایط دیم سردسیر. دانش کشاورزی، ۱۶: ۱۶۷-۱۶۱.

علیزاده سعید، کشتکار اسحاق، مختصری بیدگلی علی، ساسانفر حمیدرضا. ۱۳۹۷. ب. اثر تنش خشکی بر کارایی علف‌کش کلودینافوپ پروپارژیل (تاپیک) برای مهار علف‌هرز یولاف وحشی زمستانه (*Avena Ludoviciana* L.) در شرایط گلخانه. نهمین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، تهران.

فنائی حمید رضا، گلوی محمد، کافی محمد، قنبری بنجار احمد، شیرانی راد، امیر حسین. ۱۳۸۸. اثر مصرف کود پتاسیم و میزان آب آبیاری بر عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در دو گونه کلزا (*Brassica napus* L.) و خردل هندی (*Brassica juncea* L.). مجله علوم زراعی ایران، ۱۱ (۳): ۲۸۹-۲۷۱.

نصیری دهسرخی عباس، مکاریان حسن، قلی پور منوچهر، عباس‌دخت حمید. ۱۳۹۶. تأثیر امواج فراصوت و پرایمینگ بذر در تلفیق با مدیریت علف‌های‌هرز بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم بلبلی(*Vigna Sinensis* L.). پژوهش‌های حبوبات ایران، ۲ (۱۲): ۱۴۰-۱۲۶.

نوریانی حسن. ۱۳۹۶. اثر آماده‌سازی بذر روی برخی از شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد، عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم کنجد (*Sesamum indicum* L.). فصلنامه علمی پژوهشی فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۹ (۳۳): ۳۵-۵۱.

میری‌زاده، آی‌بی‌بی. ۱۳۹۲. بررسی تاثیر اختلاط علف‌کش نیکوسولفورون با اسید سالیسیلیک و مویان کوکووت بر رشد، عملکرد و کنترل علف‌های‌هرز ذرت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۱۰ صفحه.

مرادی کیانوش، محمدوند المیرا، اصغری جعفر. ۱۳۹۹. اثر برخی علف‌کش‌ها و کولتیواسیون بر کنترل علف‌های‌هرز و عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) در استان کرمانشاه. نشریه حفاظت گیاهان، ۳۴ (۲): ۲۵۸-۲۴۳.

وحیدپور حسین، زعفریان فائزه، منصوری ایران‌دخت، نظری شهرام. ۱۳۹۹. بررسی راهکارهای زراعی تراکم بوته و سطح کود نیتروژن بر تولید کلزای پاییزه (*Brassica napus* L.) در شرایط تداخل با جمعیت علف‌هرز ارشته خطایی (*Lepyrodiclis holosteoides* Fenzl.). نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی، ۲۷ (۲): ۴۲-۱۹.

طریق الاسلامی محسن، کافی محمد، نظامی احمد، ضرغامی رضا. ۱۳۹۶. تأثیر سالیسیلیک اسید در بهبود خسارت تنش سرمازدگی در هیبرید ذرت سینگل کراس ۴۰۰ (*Zea mays* L.) . نشریه فرآیند و کارکرد گیاهی، ۶ (۱۹): ۲۸۱-۲۹۲.

Afzal I, Ahmad N, Basra SMA, Ahmad R, Iqbal A. 2002. Effect of different seed vigor enhancement techniques on hybrid maize (*Zea mays* L.). J. Agri. Sci. 39, 109-112.

Ahmad F, Igbal SH, Rabbawaz Khan M, Wassem Abbas M. 2019. Influence of seed priming with salicylic acid on germination and early growth of sesame. Pure Appl. Biol. 8: 1206-1213.

Akbari J, Maleki A. 2018. The effect of ascorbic acid and salicylic acid foliar on vegetative properties and yield and yield components of *Vigna unguiculata* L. under drought stress. Applied Res. Plant Ecophysiol. 4:159-180.

Al-Ubaidi MOG, Alabodi HMK, Hussein AA. 2019. Effect of seed priming with salicylic acid on the growth and yield components for three varieties of maize (*Zea mays* L.). Biochem. Cell. Arch. 2: 4333-4338.

Arfan M, Athar H, Basra SMA. 2007. Does exogenous application of salicylic acid through the rooting medium modulate growth and photosynthetic capacity in two differently adapted spring wheat cultivars under salt stress? J. Plant Physiol. 164:685-94.

Bendetti L, Rangani G, Viana VE, Carvalho-Moore P, Camargo ER, De Avila, LA, Roma-Burgos N. 2020. Recurrent selection by herbicides sublethal dose and drought stress results in rapid reduction of herbicide sensitivity in jungle rice. Agronomy. 10: 1-19.

Chen S, Guo Y, Sirault X, Stefanova K, Turner NC, Nelson MN, Cowling W, 2018. Non-destructive phenomic tools for the prediction of heat and drought tolerance at anthesis in Brassica species. Front. Plant Sci. 9: 989-999.

Daramola OS. 2020. Timing of weed management and yield penalty due to delayed weed management in soybean. Planta Daninha. 38, 1-7.

Duman I. 2006. Effect of seed priming with PEG and K_3PO_4 on germination and seedling growth in Lettuce. Pakistan J. Bio. Sci. 9: 923-928.

El-Awadi ME, Hassan EA. 2011. Improving growth and productivity of fennel plant exposed to pendimethalin herbicide: stress-recovery treatments. Nature. 9: 97-108.

Fathi GA. 2004. The critical period of weed control in canola. Proceedings of the 8rd Iranian Congress in Agronomy and Plant Breeding, University of Guilan, P: 284.

Fanaei HR, Piree E, Narouei MR. 2014. Assessing the effect of different rates of phosphorous fertilizer on grain and oil yield and some agronomic traits of Indian mustard (*Brassica juncea* L.) under drought stress. Environment. Stresses Agri. Sci. 6: 147-157.

FAO. 2020. Agricultural Data, FAOSTAT. Available at Food and Agriculture Organization of the United Nations. Http: //faostat.fao.org/faostat/collections?

Hayata Q, Hayata SH, Irfan M, Ahmad A. 2010. Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. Environ. Exper. Bot. 68: 14-25.

Hussain M, Adnan M, Ahmad Khan B, Bilal HM, Javaid H, Rehman F, Ahmad R, Jagtap DN. 2020. Impact of row spacing and weed competition period on growth and yield of Rapeseed; A review. Indian J. Pure Applied Bio. 8: 1-11.

Karami Chame S, Khalil-Tahmasbi B, ShahMahmoodi P, Abdollahi A, Fathi A, Seyed Mousavi SJ, Bahamin S. 2016. Effects of salinity stress, salicylic acid and Pseudomonas on the physiological characteristics and yield of seed beans (*Phaseolus vulgaris*). Scientia. 14: 234-238.

Keramati S, Pirdashti H, Esmaili MA, Abbasian A, Habibi M. 2008. The critical period of weed control in soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) in north of Iran conditions. Pakistan J. Biol. Sci. 11: 463-467.

Khan MI, Hassan G, Khan IA, Khan I, 2004. Studies on chemical weed control in wheat. Pakistan J. Weed Sci. Res. 10: 113-118.

Khan W, Prithiviraj B, Smith D. 2003. Photosynthetic responses of corn and soybean to foliar application of salicylates. J. Plant Physiol. 160: 485–492.

Kloppenburg DJ, Hall JC. 2006. Penetration of clopyralid and related weak acid herbicides into and through isolated cuticular membranes of *Euonymus fortunei*. Weed Res. 30: 431-438.

Langaro AC, Agostinetto D, Olivera C, Silva AJD, Bruno MS. 2016. Biochemical and physiological changes in rice plants due to the application of herbicides. Planta Daninha. 34: 277-289.

Lemerle D, Luckett DJ, Wu H, Widderick MJ. 2017. Agronomic interventions for weed management in canola (*Brassica napus* L.)- A review. Crop Pro. 95: 69-73.

Miller MR, Norsworthy JK, 2018. Influence of Soil Moisture on Absorption, Translocation, and Metabolism of Florpyrauxifen-benzyl. Weed Sci. 66, 418–423.

Miri HR, Rahimi Y. 2009. Effects of combined and separate herbicide application on rapeseed and its weed in southern Iran. Inter. J. Agri. Bio. 11: 257-260.

Nemat Alla MM, Hassan NM, El-Bastawisy ZM. 2008. Changes in antioxidants and kinetics of glutathione-S-transferase of maize in response to isoproturon treatment. Plant Bio. 142: 5-16.

Noorbakhsh S, Sahraian H, Soroosh MJ, Rezaei V, Fotoohi AR. 2011. Index of pests, diseases and weeds of main crops, pesticides and control recommendations. Plant Protection Organization. 100 pp.

Potts D, Rakow A, Males GW, Woods DL. 2003. The development of canola-quality *Brassica juncea*. Canadian J. Plant Sci. 83: 117-118.

Shekhawat K, Rathore SS, Premi OP, Kandopal BK, Chauhan JS. 2012. Advances in Agronomic Management of Indian Mustard (*Brassica juncea* (L.) Czernj. Cosson): An Overview. Int. J. Agron. 303: 1-12.

Shimi P, Poorazar R, Jamali M, BagheraniTorshiz N. 2006. Evaluating clopyralid as a broadleaf herbicide in canola. Pakistan J. Weed Sci. Res. 12: 307-311.

Singh SK, Jain NK, Poonia BL. 2000. Integrated weed management in Indian mustard (*Brassica juncea*). Indian J. Agric. Sci. 70: 850–852.

Singh SP, Pandey P, Kumar M, Singh S, Pandey NS. 2013. Growth and biochemical response of wheat (*Triticum aestivum* L.) to different herbicides. African J. Agri. Res. 8: 1265- 1269.

Skelton JJ, Ma R, Riechers DE. 2016. Waterhemp (*Amaranthus tuberculatus*) control under drought stress with 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid and glyphosate. Weed Biol. Manag. 16: 34-41.

Tani E, Perraki A, Gerakari M, Chachalis P, Goufa M, Papadakis I. 2020. How is glyphosate resistance modified by exogenous salicylic acid application on *Conyza bonariensis* biotypes. Phytoparasitica. 48: 305-315.

Wani SH, Kumar V, Shriram V, Sahd SK. 2016. Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants. Crop J. 4:162–176.

Wright PR, Morgan JM, Jossop RS, Cass A. 2001. Comparative adaptation of canola (*Brassica napus*) and Indian mustard (*B. juncea* L.) to soil water deficit. Field Crops Res. 42: 1-13.

Wu LM, Fang Y, Yang HN, Bai LY. 2019. Effects of drought-stress on seed germination and growth physiology of quinclorac-resistant *Echinochloa crusgalli*. Plos One. 14: 1-11.

Yadav RP, Shrivastava UK, Yadav KS. 1995. Yield and economic analysis of weed control practices in Indian mustard (*Brassica juncea*). Indian J. Agron. 40: 122–124.

Yuan Sh, Lin H. 2008. Role of salicylic acid in plant abiotic stress. Zeitschrift fur Naturforschung C. 63:313-20.

DOI: IDAJ.2021.354835.338/10.22092

Indian mustard yield (*Brassica juncea* L.) in response to salicylic acid and clopyralid under rainfed and supplementary irrigation conditions

Sirous Hassannejad*, Bahman Ghahramani[2], Bahman Pasban Eslam[3], Khoshnood Alizadeh[4]

1- *Department of Plant Eco-Physiology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.*
2- *Ph.D student of Crop Ecology, Department of Plant Eco-Physiology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.*
3- *Crop and Horticultural Science Research Department, East Azarbaijan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Tabriz, Iran.*
4- *Dryland Agricultural Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension (AREEO), Maragheh, Iran*

Abstract

In order to evaluate the impact of salicylic acid on yield and yield component of Indian mustard under irrigation and non- irrigation (rainfed) and different doses of clopyralid, a field experiment were conducted in randomized complete block design with split-split plot arrangements with three replications at the research farm of East Azerbaijan Agricultural Research Center in 2019 and 2020. Irrigation levels (non-irrigation and supplementary irrigation) were assigned to main plots, salicylic acid levels (control without salicylic acid, priming of Indian mustard seeds with salicylic acid and foliar application with salicylic acid) were assigned to sub plots and different levels of clopyralid ((0 (weed free control), 0 (weed infested control), 0.4, 0.8 and 1.6 $L.ha^{-1}$)) were allocated to sub-sub plots. The results showed that the application of clopyralid 0.4 $L.ha^{-1}$ in non-irrigation condition resulted in highest number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000 grains weight, and grain yield, and in this regard there was not statistically significant difference with weed free control. Maximum reduction in the number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000 grains weight, and grain yield of this crop is related to treated plants with clopyralid 1.6 $L.ha^{-1}$ and weed infested control under supplementary irrigation condition. Seed pretreatment with salicylic acid reduced the negative effects of clopyralid herbicide on Indian mustard plants grown from these seeds and increased the number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000 grains weight, biological yield, grain yield, and harvest index. Seed pretreatment of Indian mustard with salicylic acid and application of clopyralid 0.4 $L.ha^{-1}$ for weeds control under non-irrigation condition, can improve the yield of Indian mustard.

Key words: Foliar application, dry farming, growth regulator, herbicide, seed priming

* *Corresponding author: sirous_hassannejad@tabrizu.ac.ir* *Submit date:2021/06/08 Accept date: 2022/05/12*