Iranian Journal of Cotton Researches
ISSN: 2345-5306

Hormetic Effects of Low Glyphosate Concentrations on Germination and Seedling Characteristics in Cotton

Ashkan Asgari[1*], Abbas Ghafori[2]

[1] Assistant Professor, Minab Higher Education Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran. Research Group of Agroecology in Dryland Areas, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran, Email: Asgariashkan6@gmail.com; A.asgari@hormozgan.ac.ir

[2] Ph.D student, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 3-7-2024
Accepted 1- 9-2024

Keywords:
Germination index
Hormesis
decreasing concentrations of glyphosate
cotton germination

ABSTRACT

Background and Objectives: Hormesis refers to the beneficial response to exposure to low levels of chemicals under otherwise adverse conditions. Certain herbicides can stimulate growth at reduced concentrations, making them promising agents for inducing hormesis. However, research on herbicide-induced stimulatory effects on germination indices is limited. This study aims to evaluate the impact of different glyphosate concentrations on the germination and seedling characteristics of cotton.

Materials and Methods: To assess the effect of glyphosate on cotton germination and seedling development, two experiments were conducted in 2024. These experiments explored the hormetic effects of glyphosate by incorporating it into the growth medium and by seed priming with various glyphosate concentrations. Both experiments were designed as randomised complete block designs with three replications. Glyphosate was applied at six concentrations: 10, 20, 40, 80, 160, and 320 ppm, alongside a control. The traits measured included seedling length, fresh and dry weight, germination percentage, seed germination index, phytotoxicity percentage, tolerance index, and germination speed.

Results: The results indicated that the 10 ppm glyphosate treatment elicited hormetic effects on several traits. In the growth medium experiment, this treatment increased seedling length by 83% compared to the control. Similarly, in the seed priming experiment, seedling length was enhanced by 164% with the same concentration. The 10 ppm treatment also resulted in a 60% increase in fresh weight and a 120% increase in dry weight in the growth medium experiment, while in the seed priming experiment, fresh weight increased by 250% and dry weight by 315% compared to the control. Additionally, the 10 ppm treatment improved seed germination by 77% in the growth medium test and by approximately 89% in the seed priming test. Conversely, the 40 and 320 ppm treatments were associated with the most pronounced inhibitory effects on seedling length, fresh weight, dry weight, and germination in both experiments.

Conclusion: The 10 ppm glyphosate treatment demonstrated the most favourable impact on the studied traits. These findings suggest that non-toxic concentrations of glyphosate can enhance seedling establishment and improve competitive ability against weeds through hormesis.

Cite this article: Asgari, A., Ghafori, A. (2023). Hormetic Effects of Low Glyphosate Concentrations on Germination and Seedling Characteristics in Cotton. *Iranian Journal Cotton Researches*, 11 (2), 117-132.

© The Author(s).
DOI: 10.22092/ijcr.2024.366297.1220
Publisher: Cotton Research Institute of Iran

مجله پژوهش‌های پنبه ایران

شاپا: ۲۳۴۵-۵۳۰۶

اثرات هورمتیکی غلظت‌های کاهش یافته گلایفوزیت بر خصوصیات جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای پنبه

اشکان عسگری[1*]، عباس غفوری[2]

[1] استادیار گروه مهندسی کشاورزی، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس. عضو هسته پژوهشی اگرواکولوژی در مناطق خشک، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، رایانامه: asgariashkan6@gmail.com; a.asgari@hormozgan.ac.ir

[2] دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۶/۱۱

واژه‌های کلیدی:
شاخص‌های جوانه‌زنی
هورمسیس
غلظت‌های کاهشی
گلایفوزیت
جوانه‌زنی پنبه

چکیده

سابقه و هدف: هورمسیس یک پاسخ مطلوب به قرار گرفتن در معرض سطوح پایین مواد شیمیایی در شرایط نامطلوب است. برخی از علف‌کش‌ها در غلظت‌های بسیار کم منجر به تحریک رشد می‌شوند. بنابراین استفاده از این علف‌کش‌ها به عنوان یک عامل جهت القای هورمسیس بسیار مفید است. تحقیقات اندکی در مورد پاسخ‌های تحریکی علف‌کش‌ها بر شاخص‌های جوانه‌زنی در دسترس است. به همین منظور این مطالعه جهت ارزیابی اثر غلظت¬های کاهشی گلایفوزیت بر خصوصیات جوانه¬زنی و گیاهچه¬ای پنبه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: به منظور بررسی اثر غلظت‌های کاهشی گلایفوزیت بر خصوصیات جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای پنبه، دو آزمایش در سال ۱۴۰۳ انجام شد. آزمایش‌ها شامل بررسی اثرات هورمتیکی محلول گلایفوزیت در شرایط افزودن به محیط رشد و پرایمینگ بذر با غلظت¬های مختلف گلایفوزیت بود. هر دو آزمایش به صورت جداگانه در قالب طرح کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. تیمارها شامل ۶ غلظت علف‌کش گلایفوزیت با غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام به همراه شاهد بود. صفات مورد اندازه گیری شامل طول گیاهچه، وزن تر و خشک گیاهچه، درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، سطح سمیت گیاهچه، شاخص تحمل و سرعت جوانه‌زنی بود.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد تیمار ۱۰ پی‌پی‌ام گلایفوزیت اثرات هورمتیکی بر برخی صفات اندازه¬گیری شده داشت به نحوی که در آزمایش محیط رشد منجر به افزایش ۸۳ درصدی طول گیاهچه نسبت به شاهد شد در حالی که همین تیمار در آزمایش پرایمینگ بذر منجر به افزایش ۱۶۴ درصدی نسبت به شاهد شد. اثر همین تیمار بر وزن تر گیاهچه در آزمایش محیط رشد منجر به افزایش ۶۰ درصدی و بر وزن خشک گیاهچه منجر به افزایش ۱۲۰ درصدی نسبت به شاهد شد در حالی که در آزمایش پرایمینگ بذر منجر به افزایش ۲۵۰ درصدی وزن تر و ۳۱۵ درصدی وزن خشک نسبت به شاهد گردید. در آزمایش محیط رشد، تیمار ۱۰ پی¬پی¬ام منجر به افزایش ۷۷ درصدی بنیه بذر نسبت به تیمار شاهد شد در حالی که در آزمایش پرایمینگ بذر این افزایش حدود ۸۹ درصد بدست آمد. همچنین بیشترین اثر بازدارندگی در صفات طول گیاهچه، وزن تر، وزن خشک و بنیه بذر در هر دو آزمایش مربوط به تیمارهای ۴۰ و ۳۲۰ پی¬پی¬ام بود.

نتیجه‌گیری: باتوجه به نتایج در هر دو آزمایش در اکثر صفات مورد مطالعه تیمار ۱۰ پی‌پی‌ام گلایفوزیت بیشترین تاثیر مثبت بر صفات مذکور را داشت لذا اثرات هورمتیکی غلظت‌های غیر سمی گلایفوزیت می‌تواند مزیت‌هایی را در استقرار گیاهچه و رقابت با علف‌های هرز ایجاد کند.

استناد: عسگری، اشکان؛ غفوری، عباس. (۱۴۰۲). اثرات هورمتیکی غلظت‌های کاهش یافته گلایفوزیت بر خصوصیات جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای پنبه. *مجله پژوهش‌های پنبه ایران*، ۱۱ (۲)، ۱۳۲-۱۱۷.

DOI: 10.22092/ijcr.2024.366297.1220

ناشر: موسسه تحقیقات پنبه کشور

© نویسندگان.

مقدمه

اثر تحریکی غلظت‌های کاهش یافته مواد شیمیایی بر رشد و تولید گیاهان در غلظت‌هایی کمتر از حد مجاز که نمی‌تواند منجر به آسیب به گیاه شود تحت عنوان هورمسیس شناخته می‌شود (بلز و دوک، ۲۰۱۴). که این پاسخ‌های تحریکی در تمام گروه‌های موجودات زنده از جمله گیاهان گزارش شده است (ادر نادیم و همکاران، ۲۰۱۷). رویکردهای مختلفی برای کاهش اثرات تنش‌های محیطی بر گیاهان استفاده می‌شود (عسگری و غفوری، ۲۰۲۳) که می‌توان به هورمسیس نیز اشاره نمود. هورمسیس می‌تواند منجر به اثرات مطلوبی مانند محافظت از گیاهان در برابر استرس‌های محیطی، افزایش تحمل گیاهان به شرایط نامطلوب رشدی، افزایش توان رقابتی با علف‌های هرز، بهبود رشد و افزایش تولید در گیاهان شود (آگاتوکلئوس و کالابرس، ۲۰۱۹).

علف کش‌ها مهمترین ابزار در کنترل علف‌های هرز محسوب می‌شوند (مبلی و همکاران، ۲۰۲۰). علف کش‌ها با تغییر در فرایندهای حیاتی گیاه می‌توانند منجر به اثرات بازدارندگی بر رشد گیاهان شوند. با این حال غلظت‌های کاهش یافته بعضی از علف‌کش‌ها می‌تواند با اثرات تحریک کننده در افزایش رشد گیاه موثر باشد (ولینی و همکاران، ۲۰۱۰). طبق مطالعات ولینی و همکاران (۲۰۱۰) مشخص شد اغلب علف کش‌ها با فعال کردن مکانیسم‌های حیاتی در گیاهان می‌توانند منجر به بازداری رشد گیاهان شوند با این حال غلظت‌های کاهش یافته بعضی از علف کش‌ها می‌تواند با اثرات تحریک کننده در افزایش رشد گیاهان موثر باشد. گلایفوزیت به عنوان پر مصرف ترین علف کش جهان در ایجاد اثرات هورمتیکی پایدار بر رشد گیاهان و عملکرد شناخته می‌شود (سدرگرین و همکاران، ۲۰۰۹). مطالعات سسکو و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد غلظت ۴۵ تا ۱۰۸ گرم گلایفوزیت در هکتار برای القای هورمسیس در سویا منجر به افزایش وزن خشک اندام هوایی شد.

سدر گرین و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند هورمسیس علف کش‌ها بسته به شرایط استفاده و گونه گیاهی باعث افزایش عملکرد به طور متوسط بین ۲۰ تا ۳۰ درصد می‌شود. عباس و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اثر گلایفوزیت بر عملکرد گندم گزارش کردند که گیاهان تیمار شده با غلظت‌های پایین گلایفوزیت، عملکرد دانه بیشتری را نسبت به تیمار شاهد تولید کردند. همچنین سدرگرین و همکاران (۲۰۰۹) گزارش کردند مصرف گلایفوزیت در غلظت‌های کمتر از ۷۲ گرم باعث افزایش عملکرد جو می‌شود. همچنین در گزارشی عنوان شد غلظت‌های کاهش یافته گلایفوزیت (۱۱/۶ تا ۳۲ گرم در هکتار) با اثر هورمتیک باعث افزایش تعداد خوشه و تعداد دانه در خوشه در گیاه برنج بدون تأثیر بر بهبود عملکرد دانه شد (گیتی و همکاران، ۲۰۱۱). بریتو و همکاران (۲۰۱۸) غلظت‌های گلایفوزیت را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که گلایفوزیت با غلظت‌های کاهش یافته ۳۶ گرم ماده موثره در هکتار باعث تحریک رشد و نمو ذرت با اثر بر ارتفاع گیاه و تعداد برگ می شود.

پنبه با نام علمی *Gossypium hirsutum* L. گیاهی دو لپه‌ای از خانواده پنیرکیان به عنوان گیاهی لیفی و روغنی، یکی از محصولات پر اهمیت اقتصادی در سطح جهانی محسوب می‌شود (عسگری و غفوری، ۲۰۲۳). علیرغم افزایش بازده رشد پنبه در سطح جهانی، رشد و استقرار مناسب محصول یک چالش مهم در بسیاری از کشورها می‌باشد (چن و همکاران، ۲۰۲۰). مرحله جوانه‌زنی به دلیل اثر مستقیم بر استقرار اولیه گیاه بسیار پر اهمیت می‌باشد (پاتانک و همکاران، ۲۰۱۳). تاخیر در جوانه‌زنی می‌تواند باعث کاهش رقابت با علف‌های هرز، کاهش جذب تشعشع و افزایش رقابت برای رطوبت و مواد مغذی شود زیرا ظهور سریع تر گیاهان منجر به ایجاد سیستم ریشه‌ای توسعه یافته و گسترده‌تر می‌شود (پتیگرو، ۲۰۰۸). بنابراین استفاده از رویکردهای مناسب جهت افزایش پایداری تولید در پنبه مورد نیاز است. چندین روش مدیریت زراعی جهت استقرار بهتر پنبه و تحمل بهتر شرایط نامساعد محیطی و افزایش درجه رقابت با علف‌های هرز وجود دارد که از جمله آنها پرایمینگ بذر می‌باشد که علاوه بر رفع مشکل جوانه‌زنی می‌تواند

در استقرار بهتر محصول نقش داشته باشد (چن و همکاران، ۲۰۲۰). فن‌آوری پرایمینگ بذر، یک روش رایج شامل خیساندن بذرها در آب و یا محلولی حاوی مواد دیگر (طبیعی یا مصنوعی) است. مشخص شده است که فن‌آوری پرایمینگ بذر یک روش موثر برای ایجاد تحمل به تنش در گونه‌های گیاهی است. این فرآیند تحریک یک حالت فیزیولوژیکی خاص در سیستم گیاهی است (مولیک و همکاران، ۲۰۱۸). در سال‌های اخیر، پرایمینگ بذر به عنوان یک استراتژی سودآور و امیدوارکننده در مدیریت تنش‌های زیستی و غیرزیستی بدون تحمیل تغییرات ژنتیکی ظاهر شده است. درصد جوانه‌زنی را بهبود می‌بخشد و همچنین استقرار یکنواخت گیاهچه را در محصولات تضمین می‌کند (مولیک و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعات متعدد نشان داد که پرایمینگ بذر می‌تواند عملکرد بذر و گیاهچه را در گونه‌های متعدد افزایش دهد (اگیدو و همکاران، ۲۰۱۸). پرایمینگ بذر روشی مفید برای بهبود جوانه‌زنی بذر، رشد گیاهچه، تولید محصول و تحمل به تنش‌های محیطی می‌باشد (مولیک و همکاران، ۲۰۱۸). پرایمینگ بذر یک روش مناسب جهت تحریک جوانه‌زنی سریع و سبز شدن یکنواخت گیاهچه‌ها می‌باشد (مولیک و همکاران، ۲۰۱۶). طبق مطالعات انونسیاتو (۲۰۱۸) غلظت‌های کاهش یافته گلایفوزیت در افزایش سرعت جوانه‌زنی، استقرار مناسب و افزایش رشد در گیاه *Digitaria insularis* شد. این اثرات می‌تولند در افزایش رقلبت این گونه و تغییر فنوتیپ علف‌های هرز کمک کند. بنابراین، مدیریت هورمسیس می‌تواند یک استراتژی مطلوب برای حفظ و افزایش عملکرد محصولات گیاهی در شرایط نامناسب محیطی باشد.

با توجه به اینکه بیشتر مطالعات هورمتیکی، اثرات تحریکی علف‌کش‌ها بر رشد محصول را بررسی می‌کنند تحقیقات اندکی در مورد پاسخ‌های تحریکی علف‌کش‌ها بر جوانه‌زنی و شاخص‌های جوانه‌زنی در دسترس است به همین منظور این مطالعه جهت ارزیابی اثرات غلظت‌های کاهشی گلایفوزیت بر جوانه‌زنی و شاخص‌های جوانه‌زنی پنبه صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر در سال ۱۴۰۳ در آزمایشگاه مجتمع آموزش عالی میناب با هدف بررسی اثر هورمتیکی علف‌کش گلایفوزیت بر جوانه‌زنی گیاه پنبه رقم پرتو (موسسه تحقیقات پنبه کشور) در قالب دو آزمایش جداگانه انجام شد. گلایفوزیت مورد استفاده مربوط به شرکت گیتا شیمی سهند با ۳۶ درصد ماده موثره بود. تهیه محلول بر اساس غلظت ماده موثره انجام شد و تیمارها شامل غلظت ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام و یک تیمار شاهد با آب مقطر بود. محلول‌ها پس از تهیه در یخچال با دمای ۴ درجه نگهداری شدند و در دو آزمایش جداگلنه به صورت افزودن محلول به محیط رشد (پتری دیش) و پرایمینگ بذر با محلول‌های تهیه شده به ارزیابی خصوصیات جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای پنبه پرداخته شد.

آزمایش اول افزودن محلول‌به محیط رشد: این آزمایش به صورت طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. بذرهای یکنواخت انتخاب و بعد از کرک زدایی توسط اسید سولفوریک، با آب مقطر شسته شد سپس تعداد ۱۰ بذر داخل هر پتری دیش ۹ سانتی‌متری با کاغذ صافی واتمن برای هر تکرار قرار داده شد. پس از تهیه محلول‌ها با غلظت ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام مقدار ۵ میلی‌لیتر از هر محلول به پتری دیش حاوی بذرها اضافه شد و با قرار دادن بذرها در انکوباتور در دمای ۲۷ درجه سانتی گراد، رطوبت نسبی ۵۵ درصد و ۱۲ ساعت روشنایی، اثر گلایفوزیت به مدت ۷ روز بررسی گردید. شمارش بذرهای جوانه‌زده به صورت روزانه انجام شد و در نهایت طول و وزن تر و خشک گیاهچه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. یک تیمار شاهد جهت مقایسه با تیمارهای علف کش در نظر گرفته شد که از ۵ میلی لیتر آب مقطر در هر پتری دیش استفاده شد.

آزمایش دوم پرلیمینگ بذر با محلول: این آزمایشهم به صورت طرح کاملا تصادفی با سه تکرار انجام شد. جهت پرایمینگ، بذرهای پنبه را در محلول‌های تهیه شده با غلظت‌های ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام به همراه شاهد با نسبت بذر به

محلول ۱ به ۵ در دمای ۱۶ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۰ ساعت قرار داده شد و بعد از شستشو و خشک شدن بذرها با جریان ملایم هوا، ۱۰ عدد بذر در پتری دیش ۹ سانتی‌متری (با کاغذ صافی واتمن) قرار داده شد و مقدار ۵ میلی‌لیتر آب مقطر به پتری دیش‌ها اضافه شد. تیمار شاهد فقط با آب مقطر پرایم شد (هریس، ۲۰۰۶). شمارش بذرهای جوانه‌زده بصورت روزانه به مدت ۷ روز صورت گرفت و در نهایت طول و وزن تر و خشک گیاهچه اندازه گیری شد. اندازه گیری طول گیاهچه به وسیله کولیس و اندازه گیری وزن تر و خشک به کمک ترازو با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم انجام شد.

صفات مورد اندازه گیری: درصد جوانه‌زنی (GP) برای محاسبه درصد جوانه‌زنی از رابطه زیر استفاده شد که در آن N' تعداد بذرهای جوانه زده و N تعداد کل بذرها می‌باشد (ایستا، ۱۹۹۹).

$$GP = \left(\frac{N'}{N}\right) * 100$$

بنیه بذر (VI): برای محاسبه شاخص بنیه بذر از رابطه زیر استفاده شد که در آن R میانگین طول ریشه‌چه و S میانگین طول ساقه‌چه است (ایستا، ۱۹۹۹).

$$VI = (R + S)GP * 100$$

سطح سمیت گیاهچه (STL): برای محاسبه سطح سمیت گیاهچه از رابطه زیر استفاده شد که در آن RLC طول ریشه‌چه تیمار شاهد RLT طول ریشه تیمار است (نیکومرام و همکاران، ۲۰۲۴).

$$STL = \left(\frac{RLT - RLC}{RLC}\right) * 100$$

شاخص تحمل ریشه (RTI): برای محاسبه شاخص تحمل از رابطه زیر استفاده شد (بارنا و همکاران، ۲۰۰۹).

$$\mathrm{RTI} = \left(\frac{RLT}{RLC}\right) * 100$$

سرعت جوانه‌زنی (GR): برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی از رابطه زیر استفاده شد که N_i مجموع بذرهای جوانه زده در شمارش هر روز و D_i شمارش روز می‌باشد (ایستا، ۱۹۹۹).

$$GR = \sum_{i=1}^{d} (N_i/D_i)$$

تجزیه واریانس داده‌های حاصل از هر دو آزمایش، با استفاده از نرم افزار آماری SAS نسخه ۹/۴ و رسم نمودارها با نرم افزار Excel ۲۰۱۶ انجام شد. از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار LSD در سطح احتمال پنج درصد برای مقایسه معنی داری استفاده شد.

نتایج

آزمایش افزودن محلول‌به محیط رشد: صفات جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای پنبه با افزودن محلول گلایفوزیت با غلظت‌های مختلف به محیط رشد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمارهای مختلف گلایفوزیت بر طول گیاهچه، وزن تر و خشک گیاهچه، درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، سطح سمیت گیاهچه و شاخص تحمل معنی‌دار بود. اما اثر تیمارهای گلایفوزیت بر سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار نبود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام و غلظت ۱۶۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش معنی‌دار طول گیاهچه به‌ترتیب حدود ۸۳ و ۵۵ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. از طرف دیگر غلظت‌های ۲۰ ، ۴۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام منجر به کاهش معنی‌دار طول گیاهچه نسبت به تیمار شاهد شد که این کاهش طول به‌ترتیب حدود ۵۵، ۶۲ و ۶۲ درصد کمتر از تیمار شاهد به‌دست آمد که نشان داد علاوه بر اینکه بالاترین غلظت گلایفوزیت منجر به مهار رشد می‌شود غلظت ۴۰ پی‌پی‌ام نیز نتایج مشابهی مانند ۳۲۰ پی‌پی‌ام داشت و منجر به کاهش رشد گردید (جدول ۲).

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف گلایفوزیت بر صفات گیاهچه‌ای با افزودن محلول به محیط رشد

منابع تغیرات	درجه آزادی	طول گیاهچه	وزن تر گیاهچه	وزن‌خشک گیاهچه	درصد جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر	سطح سمیت گیاهچه	شاخص تحمل	سرعت جوانه‌زنی
تیمار	۶	۳۶/۸۲**	۰/۰۰۰۰۸۸**	۳/۳۱**	۵۲۲/۲**	۲۱۳۰۶۳**	۱۰۲۲۹/۲**	۹۶۱۱/۳۸**	۱/۱۲^{ns}
خطا	۱۴	۰/۹۵	۰/۰۰۰۰۳۵	۵/۲۲	۱۶۱/۹	۳۹۹۵	۲۶۴/۵	۲۴۳/۲۳	۰/۴۰
کل	۲۰	۲۳۴/۲۰	۰/۰۰۰۵۸	۲/۰۶	۵۴۰۰	۱۳۳۴۳۱۴	۶۵۰۷۹	۶۴۰۳۱	۱۲/۳۵
CV	-	۱۷/۰۷	۱۹/۶۷	۱۵/۷۰	۲۱/۲۰	۱۷/۲۸	۳/۲۲	۱۷/۰۷	۱۹/۰۰

نتایج مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف گلایفوزیت در محیط جوانه‌زنی بر وزن تر و خشک گیاهچه نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین غلظت‌های مختلف گلایفوزیت وجود دارد. غلظت‌های ۱۰ و ۱۶۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک نسبت به تیمار شاهد گردید که این تیمارها در وزن تر در هر دو غلظت حدود ۶۰ درصد و در وزن خشک در تیمار ۱۰ پی‌پی‌ام حدود ۱۲۰ درصد و غلظت ۱۶۰ پی‌پی‌ام حدود ۹۷ درصد نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود. همچنین کمترین مقدار وزن خشک و تر مربوط به تیمار های با غلظت ۲۰، ۴۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام بدست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف گلایفوزیت بر صفات گیاهچه‌ای با افزودن محلول به محیط رشد

گلایفوزیت (پی‌پی‌ام)	طول گیاهچه	وزن تر گیاهچه(گرم)	وزن خشک گیاهچه(گرم)	درصد جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر	سطح‌سمیت گیاهچه	شاخص تحمل	سرعت جوانه‌زنی
شاهد	۶ ^{b}	۰/۰۱ ^{b}	۰/۰۰۰۴۳ ^{b}	۷۳/۳۳ ^{a}	۴۳۰ ^{c}	۵۰۰ ^{b}	۱۰۰ ^{b}	۳/۵۶ ^{a}
۱۰	۱۱ ^{a}	۰/۰۱۶ ^{a}	۰/۰۰۰۹۶ ^{a}	۷۰ ^{ab}	۷۶۳/۳۳ ^{a}	۴۱۶/۶ ^{c}	۱۸۳/۳ ^{a}	۳/۲۵ ^{a}
۲۰	۲/۶۶ ^{c}	۰/۰۰۵ ^{c}	۰/۰۰۰۲۱ ^{c}	۳۶/۶۷ ^{c}	۹۳/۳ ^{d}	۵۵۵/۵ ^{a}	۴۴/۴ ^{c}	۱/۹۷ ^{b}
۴۰	۲/۳۳ ^{c}	۰/۰۰۳۷ ^{c}	۰/۰۰۰۱۴ ^{c}	۵۰ ^{bc}	۲۱۳/۳ ^{d}	۵۶۱/۱ ^{a}	۳۸/۸۹ ^{c}	۳ ^{ab}
۸۰	۶/۳۳ ^{b}	۰/۰۱۱ ^{b}	۰/۰۰۰۴۵ ^{b}	۵۶/۶۷ ^{abc}	۳۵۶/۶ ^{c}	۴۹۴/۴۴ ^{b}	۱۰۵/۵ ^{b}	۳/۳۵ ^{a}
۱۶۰	۹/۳ ^{a}	۰/۰۱۶ ^{a}	۰/۰۰۰۸۵ ^{a}	۷۰ ^{ab}	۶۵۰ ^{b}	۴۴۴/۴ ^{c}	۱۵۵/۵ ^{a}	۳/۷۸ ^{a}
۳۲۰	۲/۳۳ ^{c}	۰/۰۰۳۸ ^{c}	۰/۰۰۰۱۵ ^{c}	۶۳/۳۳ ^{ab}	۱۵۳/۳ ^{d}	۵۶۱/۱ ^{a}	۳۸/۸۹ ^{c}	۳/۶۶ ^{a}
LSD	۱/۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۲۲/۲۸	۱۱۰/۶۹	۲۸/۴۳	۲۸/۴۸	۱/۱

مطابق نتایج بدست آمده تیمار شاهد یا عدم استفاده از گلایفوزیت منجر به افزایش جوانه‌زنی نسبت به غلظت‌های مختلف گلایفوزیت شد و اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها وجود داشت. کمترین درصد جوانه‌زنی مربوط به تیمار ۲۰ پی‌پی‌ام به دست آمد که حدود ۵۰ درصد کمتر از تیمار شاهد بود (جدول ۲).

اثر غلظت‌های مختلف گلایفوزیت بر بنیه بذر در غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش معنی‌دار بنیه بذر نسبت به سایر تیمارها شد که حدود ۷۷ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود همچنین تیمار ۱۶۰ پی‌پی‌ام حدود ۵۰ درصد نسبت به تیمار شاهد بنیه بذر را افزایش داد. از طرفی تیمارهای ۲۰، ۴۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام کمترین مقدار بنیه بذر را نشان دادند که این غلظت‌ها به‌ترتیب منجر به کاهش بنیه بذر به مقدار ۸۰، ۵۰ و ۶۵ درصد شد (جدول ۲). غلظت‌های ۱۰ و ۱۶۰ پی‌پی‌ام منجر با کاهش اثر سمیت گیاهچه شدند و اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها و شاهد وجود داشت که این کاهش سمیت در تیمار ۱۰ پی‌پی‌ام حدود ۱۷ درصد و در تیمار ۱۶۰ پی‌پی‌ام حدود ۱۲ درصد بود. بیشترین میزان سمیت در تیمارهای ۲۰، ۴۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام مشاهده شد که منجر به افزایش سمیت حدود ۱۱ درصد بیشتر از تیمار شاهد شد (جدول ۲).

نتایج غلظت‌های مختلف گلایفوزیت بر شاخص تحمل به علف کش نشان داد که تیمار ۱۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش شاخص تحمل ۸۳ درصدی نسبت به

تیمار شاهد شد همچنین تیمار ۱۶۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش ۵۵ درصدی شاخص تحمل به علف کش شد. تیمارهای ۲۰ ، ۴۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام منجر به کاهش معنی‌دار شاخص تحمل بر بذرهای پنبه شد که میزان کاهش این شاخص به ترتیب برابر ۵۵ ، ۶۲ و ۶۲ درصد نسبت به تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۲).

آزمایش پرایمینگ-بذر: خصوصیات جوانه‌زنی و گیاهچه‌ای پنبه با پرایمینگ بذرها توسط محلول‌های گلایفوزیت با غلظت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تیمارهای مختلف گلایفوزیت بر طول گیاهچه، وزن تر و خشک گیاهچه، درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه بذر، سطح سمیت گیاهچه، شاخص تحمل و سرعت جوانه‌زنی معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش معنی‌دار طول گیاهچه نسبت به سایر تیمارها شد که این افزایش نسبت به شاهد حدود ۱۶۴ درصد بود. غلظت‌های ۴۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام منجر به کاهش معنی‌دار طول گیاهچه نسبت به شاهد شد که این کاهش طول حدود ۶۵ درصد کمتر از شاهد به‌دست آمد که نشان داد علاوه بر اینکه بالاترین غلظت گلایفوزیت منجر به مهار رشد شد، غلظت ۴۰ پی‌پی‌ام نیز نتایج مشابهی مانند ۳۲۰ پی‌پی‌ام داشت و منجر به کاهش رشد گردید (جدول ۴).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف گلایفوزیت بر صفات گیاهچه‌ای بصورت پرایمینگ بذر

منابع تغیرات	درجه آزادی	طول گیاهچه	وزن تر گیاهچه	وزن‌خشک گیاهچه	درصد جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر	سطح‌سمیت گیاهچه	شاخص تحمل	سرعت جوانه‌زنی
تیمار	۶	۸۳/۲۲ **	۰/۰۰۰۲۷ **	۱/۰۴ **	۵۱۹/۰۴ **	۱۷۵۴۶۶ **	۱۶۹۸۴/۱ **	۱۸۷۶۲ **	۰/۳۵ **
خطا	۱۴	۱/۰۹	۰/۰۰۰۰۰۵۹	۱/۰۸	۸۵/۷۱	۹۱۶۱	۲۲۳/۵	۲۴۶/۹	۰/۱۵
کل	۲۰	۵۱۴/۶۶	۰/۰۰۱۷	۶/۳۹	۴۳۱۴	۱۱۸۱۰۶۶	۱۰۵۰۳۴	۱۱۶۰۳۱	۴/۲۶
CV		۱۳/۶	۱۸/۶۵	۱۵/۷۶	۲۷	۳۳/۷۸	۱۷/۷۴	۱۳/۶۵	۲۹/۰۱

اثر پرایمینگ بذر با غلظت‌های مختلف گلایفوزیت بر وزن تر و خشک گیاهچه نشان داد که اختلاف معنی داری بین غلظت‌های مختلف گلایفوزیت وجود دارد. غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک نسبت به تیمار شاهد شد که این تیمار در وزن تر حدود ۲۵۰ درصد و در وزن خشک حدود ۳۱۵ درصد بیشتر نسبت به شاهد بود. همچنین کمترین مقدار وزن خشک و تر مربوط به تیمارهای با غلظت ۴۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام بدست آمد (جدول ۴).

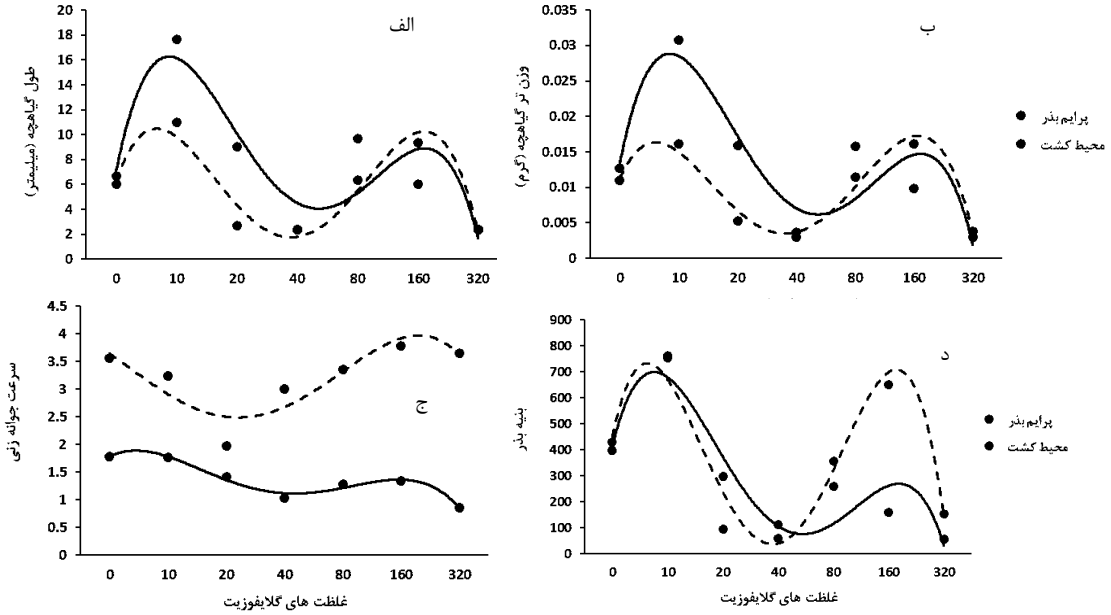
تیمار شاهد یا عدم استفاده از گلایفوزیت منجر به افزایش جوانه‌زنی نسبت به غلظت‌های مختلف علف کش شد و اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها وجود داشت. با افزایش غلظت گلایفوزیت درصد جوانه‌زنی کاهش یافت به نحوی که از غلظت ۴۰ پی‌پی‌ام به بالا ۵۵ درصد کاهش درصد جوانه‌زنی نسبت به شاهد مشاهده شد (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر غلظت‌های مختلف گلایفوزیت بر صفات گیاهچه‌ای بصورت پرایمینگ بذر

گلایفوزیت (پی‌پی‌ام)	طول گیاهچه	وزن تر گیاهچه	وزن خشک گیاهچه	درصد جوانه‌زنی	شاخص بنیه بذر	سطح‌سمیت گیاهچه	شاخص تحمل	سرعت جوانه‌زنی
شاهد	۶/۶ c	۰/۰۱۲ bc	۰/۰۰۰۵۷ cd	۶۰ a	۳۹۶/۶ b	۶۰۴/۷ b	۱۰۰ c	۱/۷۸ a
۱۰	۱۷/۶ a	۰/۰۳ a	۰/۰۰۱۸ a	۴۳/۳ b	۷۵۳/۳ a	۴۴۷/۶ d	۲۶۵/۲۷ a	۱/۷۶ a
۲۰	۹ b	۰/۰۱۵ b	۰/۰۰۰۹ b	۳۳/۳ bc	۲۹۶/۶ bc	۵۷۱/۴ c	۱۳۵/۱۴ b	۱/۴۱ ab
۴۰	۲/۳۳ d	۰/۰۰۳ d	۰/۰۰۰۱۲ e	۲۶/۶۶ c	۶۰ d	۶۶۶/۶ a	۳۵/۰۴ d	۱/۰۳ b
۸۰	۹/۶۶ b	۰/۰۱۵ b	۰/۰۰۰۶ c	۲۶/۶۶ c	۲۶۰ bc	۵۶۱/۹ c	۱۴۵/۱۵ b	۱/۲۷ ab
۱۶۰	۶ c	۰/۰۰۹ c	۰/۰۰۰۴ d	۲۶/۶۶ c	۱۶۰ cd	۶۱۴/۲ b	۹۰ c	۱/۳۳ ab
۳۲۰	۲/۳۳ d	۰/۰۰۳ d	۰/۰۰۰۱۱ e	۲۳/۳۳ c	۵۶/۶ d	۶۶۶/۶ a	۳۵/۰۴ d	۰/۸۶ b
LSD	۱/۸۳	۰/۰۴۳	۰/۰۰۰۲	۱۶/۲۱	۱۶۷/۶۲	۳۶/۱۸	۲۷/۵۱	۰/۶۸

نتایج پرایمینگ بر بنیه بذر پنبه نشان داد که غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش معنی‌دار بنیه بذر نسبت به سایر تیمارها شد که حدود ۸۹ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود از طرفی تیمارهای ۴۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام کمترین مقدار بنیه بذر را نشان دادند که این غلظت‌ها به‌ترتیب منجر به کاهش بنیه بذر به مقدار ۸۵ و ۸۶ درصد نسبت به تیمار شاهد شدند (جدول ۴).

نتایج حاکی از آن بود که غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام منجر با کاهش اثر سمیت گیاهچه شد و اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها و شاهد داشت. که این کاهش سطح سمیت گیاهچه حدود ۲۶ درصد نسبت به شاهد بود. بیشترین میزان سطح سمیت گیاهچه نیز در تیمارهای ۴۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام مشاهده شد که منجر به افزایش سطح سمیت گیاهچه در حدود ۱۰ درصد بیشتر از تیمار شاهد گردید (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین داده‌های شاخص تحمل به علف کش نشان داد که تیمار ۱۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش شاخص تحمل ۱۶۵ درصدی نسبت به شاهد شد. در حالی که تیمار های ۴۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام منجر به کاهش معنی‌دار شاخص تحمل بر بذرهای پنبه شد که میزان کاهش این شاخص به ترتیب برابر ۶۵ و ۶۵ درصد نسبت به تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۴).



شکل ۱- اثر غلظت‌های مختلف گلایفوزیت بر طول (الف) و وزن تر گیاهچه (ب)، سرعت جوانه‌زنی (ج) و بنیه بذر (د) در گیاه پنبه با اضافه کردن محلول به محیط رشد و پرایمینگ بذر

بحث

ارزیابی شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات گیاهچه‌ای به عنوان یک اندازه‌گیری تحلیلی در آزمایش‌های بیولوژیکی برای بررسی لثرات مواد شیمیایی و آلاینده‌های محیطی مانند علف کش‌ها استفاده می‌شود (پیوترویک، ۲۰۱۰). بررسی تاثیر علف کش‌ها همچون گلایفوزیت را می‌توان با بهره‌گیری از شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات گیاهچه‌ای بر روی گیاهان بررسی نمود. با توجه به اینکه اغلب نیمه عمر گلایفوزیت در خاک چند روز بیان می‌شود (تو و همکاران، ۲۰۰۱) و بر اساس فعالیت میکروبی خاک و خصوصیات خاک غیرفعال می‌گردد اما غلظت‌های پایین در خاک ممکن است مدت زمان زیادی باقی بماند و افزودن عناصر معدنی و تغییر pH خاک ممکن است در دسترسی جذب گلایفوزیت توسط گیاه موثر باشد (دوک و همکاران، ۲۰۱۲).

در این مطالعه اثرات هورمتیکی ناشی از کاربرد غلظت‌های کاهشی گلایفوزیت بر شاخص‌های

جولنه‌زنی پنبه نشـــان داد که طول گیاهچه، وزن تر و خشـــک گیاهچه، شـــاخص بنیه بذر و شـــاخص تحمل اثرات تحریکی را در غلظت‌های ۱۰ و ۱۶۰ پی‌پی‌ام و اثرات بازدارندگی را در غلظت‌های ۴۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام نشان دادند. سرعت جوانه‌زنی و بنیه بذر به عنوان یکی از فاکتورهای مهم در اســتقرار بهتر گیاهان در شــرایط نامطلوب محیطی محسوب می‌شود. که به نظر می‌رسد به دلیل افزایش ســـرعت جذب آب و افزایش فعالیت های متابولیکی بذر منجر به افزایش ســرعت جوانه‌زنی می شـــود (شـــاکری و همکاران ۲۰۱۷). اثر تیمار ۱۰ پی‌پی‌ام گلایفوزیت که منجر به افزایش معنی‌دار بنیه بذر نسـبت به سـایر تیمارها شـد. همچنین این تیمار همانند تیمار شـاهد منجر به افزایش سـرعت جوانه‌زنی در پرایمینگ بذر شـدند که نسـبت به سـایر تیمارها اختلاف معنی‌دار مشـاهده شـد. هر دو آزمایش محیط رشـــد و پرایمینگ بذر در بهبود صـــفات گیاهچه‌ای و شـــاخص‌های جولنه‌زنی موثر هســـتند با این حال اثر پرایمینگ بر صـفات جوانه‌زنی مفیدتر بود. این نتایج با یافته‌های ریس و همکاران (۲۰۱۸) مشـــابه بود که به بررســی اثر پرایمینگ بذر با آهن و روی بر جوانه‌زنی و عملکرد دانه پرداختند و گزارش کردند پرایمینگ بذر توســـط آهن با بهبود قوه نامیه بذر منجر به اســـتقرار بهتر گندم شـــده و با افزایش تعداد پنجه های بارور منجر به افزایش عملکرد شد.

اثر هورمتیکی غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام بر طول گیاهچه در آزمایش پرایمینگ نسبت به محیط رشد محسوس‌تر بود. به نحوی که در غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام با پرایمینگ بذر افزایشی حدود ۷۰ درصد بیشتر نسبت به محیط رشـد به‌دسـت آمد (شـکل۱-الف). در مطالعات خان و همکاران (۲۰۲۰) که به بررسی اثر غلظت‌های کاهشی گلایفوزیت بر جوانه‌زنی گوجه‌فرنگی پرداختند مشخص شـــد کـه غلظـت‌هـای ۰/۰۷ و ۱ میلی گرم بر لیتر گلایفوزیت باعث تحریک رشد و افزایش طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در گیاهچه گوجه فرنگی شد. در غلظت‌های ۱۰ تا ۸۰ پی‌پی‌ام پرایمینگ بذر منجر به افزایش طول گیاهچه نسبت به آزمایش محیط رشد شد. با این حال در غلظت‌هـای ۱۶۰ و ۳۲۰ پی‌پی‌ام کـاهش رشـــد گیاهچه در آزمایش پرایمینگ بذر نســـبت به محیط رشـد افزایش یافت (شـکل۱-الف). در مطالعه حسـینی (۲۰۱۱) که به بررسـی اثرات غلظت‌های ۰/۵ ، ۱ ، ۲/۵ ، ۵ و ۱۰ پی‌پی‌ام ایمـازتـاپیر بر جوانـه‌زنی نخود پرداختنـد مشـــخص گردیـد کـه بـا افزایش غلظـت ایمازتاپیر طول ریشـه‌چه و سـاقه‌چه کاهش معنی‌داری نسـبت به تیمار شـاهد نشـان داد. که این کاهش در تیمار ۱۰ پی‌پی‌ام برای ســاقه‌چه حدود ۸۴ درصـد و برای ریشـه‌چه حدود ۸۱ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. تغییر در الگوی ســنتز یا تجزیه پروتئین‌ها، مهار ســنتز لیگنین یـا تغییرات در متـابولیـت‌هـای ثانویـه می‌تواند در تحریک یا بازداری رشـــد در غلظت‌های پایین موثر باشد (زوبیول و همکاران، ۲۰۱۰).

پرایمینگ بذر منجر به اثرات هورمتیکی بر وزن تر گیـاهچـه در غلظـت‌هـای ۱۰ پی‌پی‌ام شـــد کـه در غلظت‌های بیشـتر از آن کاهش وزن تر مشـاهده شـد (شکل۱-ب). طی مطالعه‌ی باربوسا و همکاران (۲۰۱۷) در بررســـی اثر غلظت‌هـای ۰، ۳/۵ ، ۷، ۱۰/۵، ۱۴ و ۱۷/۵ گرم ماده موثره گلایفوزیت در هکتار بر جوانه‌زنی ذرت مشـــخص شـــد که با افزایش غلظت گلایفوزیت وزن، طول گیاهچه و درصـــد جوانه‌زنی ذرت کاهش یافت. با توجه به مطالعات دوک و ســدرگرین (۲۰۰۶) حسـاسـیت به گلایفوزیت در گونه‌های مختلف متفاوت اسـت همچنین اندام‌های مختلف یک گیاه ممکن است واکنش‌های متفاوتی نسـبت به یک غلظت مشـخص از گلایفوزیت را نشـان دهند. همچنین زمان کاربرد علف کش نیز می‌توانـد منجر بـه پاســـخ‌هـای متفـاوتی در گیاهان شود.

در بررســـی اثر غلظت‌های گلایفوزیت بر ســـرعت جوانـه‌زنی در آزمـایش پرایمینـگ هیچ اختلاف معنی داری بین تیمار شـاهد و غلظت های ۱۰ و ۲۰ پی پی ام مشـــاهده نشـــد. با این حـال بـا افزایش غلظت گلایفوزیت سـرعت جوانه زنی کاهش یافت. در آزمایش محیط رشـــد غلظت ۱۶۰ پی‌پی‌ام منجر بـه افزایش سرعت جوانه‌زنی گردید. در مقایسه دو روش آزمایشی، اثر محیط رشـد بر سـرعت جوانه‌زنی بیشـتر از آزمایش پرایمینـگ بـه دســـت آمـد. بـه نحوی کـه در تیمـار

۱۶۰پی‌پی‌ام سرعت جوانه‌زنی در آزمایش محیط رشد حدود سه برابر آزمایش پرایمینگ بود (شکل۱-ج). در مطالعه‌ای مشخص شد که غلظت‌های کاهش یافته گلایفوزیت (۵-۴۵ گرم در هکتار) منجر به افزایش ارتفاع، زیست توده، وزن بذر و سرعت جوانه‌زنی در گیاه هرز *Digitaria insularis* شد. این اثرات می‌تواند در افزایش رقابت این گونه و تغییر فنوتیپ علف های هرز کمک کند (بریتو و همکاران، ۲۰۱۸).

کاهش سمیت گیاهچه در تیمار ۱۰ پی‌پی‌ام در آزمایش پرایمینگ بذر و ۱۰ و ۱۶۰ پی‌پی‌ام در آزمایش محیط رشد بیانگر این است که شاخص تحمل در این تیمارها افزایش یافته است و منجر به اثرات هورمتیکی در افزایش طول گیاهچه، وزن تر، وزن خشک و شاخص بنیه بذر شده است. در مطالعه نوری و حدیوی (۲۰۲۱) که به بررسی اثر پرایمینگ بذر بر بهبود جوانه زنی در گیاه *Lepidium sativum* تحت تنش آرسنیک پرداختند مشخص شد که با افزایش آرسنیک شاخص تحمل کاهش یافت. آرسنیک با مهار رشد و مرگ ارگانیسم ها منجر به کاهش جوانه‌زنی شد. که پرایمینگ بذر با تغییر فعالیت‌های بیوشیمیایی و آنزیمی در افزایش شاخص تحمل و بهبود درصد جوانه‌زنی موثر بود. فن‌آوری پرایمینگ فعالیت آنتی اکسیدانی، مسیرهای تنفسی، بیان ژن و ترمیم DNA را از طریق پیش تیمار بهبود می‌بخشد و به طور کلی فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی را پس از جوانه‌زنی بذر تغییر می‌دهد در نتیجه استرس اکسیداتیو مرتبط با تنش‌های محیطی کاهش می‌یابد (سن و پوتور، ۲۰۲۰). همچنین در آزمایش محیط رشد تیمارهای ۱۰ و ۱۶۰ پی‌پی‌ام و در آزمایش پرایمینگ تیمار ۱۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش بنیه بذر نسبت به شاهد گردید (شکل۱-د). مطابق نظر پژوهشگران غلظت بالای عوامل شیمیایی در مرحله جوانه‌زنی تاثیر سوء قابل توجهی بر پارامترهای رشدی مانند طول و وزن خشک دارد (لی و همکاران، ۲۰۲۱). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام در هر دو آزمایش با فعال کردن مکانیسم‌هایی مانند متابولیت‌های آنتی اکسیدانی یا فعالیت‌های آنزیمی در افزایش اثرات رشدی نقش داشته است. در همین راستا در مطالعات سوارز و همکاران (۲۰۱۹) که به بررسی غلظت‌های کاهشی گلایفوزیت بر رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه گوجه فرنگی پرداختند بیان کردند که غلظت‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ پی‌پی‌ام گلایفوزیت در خاک با تداخل بر چندین متابولیت آنتی اکسیدانی (پرولین، آسکوربات و گلوتاتیون) و فعالیت‌های آنزیمی منجر به مهار رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه در بذر گوجه فرنگی شدند. این اثرات هورمتیکی در غلظت‌های کاهش یافته گلایفوزیت نشان دهنده یک رابطه پیچیده بین تحریک رشد در غلظت‌های کم و مهار رشد در غلظت‌های بالاست که با پدیده هورمتیک سازگار است (د مورائس و همکاران، ۲۰۲۰).

نتیجه گیری

در آزمایش استفاده از محلول‌های گلایفوزیت در محیط رشد، غلظت‌های ۱۰ و ۱۶۰ پی‌پی‌ام منجر به افزایش معنی‌دار در صفات طول گیاهچه، وزن تر و خشک گیاهچه شدند. در حالی که شاخص بنیه بذر در غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام بیشترین مقدار بدست آمد که دارای اختلاف معنی‌دار با سایر غلظت‌ها بود. همچنین غلظت‌های ۱۰ و ۱۶۰ پی‌پی‌ام منجر به کاهش سطح سمیت گیاهچه و افزایش شاخص تحمل در بذر پنبه شدند با توجه به اثرات تحریکی در غلظت‌های ۱۰ و ۱۶۰ پی‌پی‌ام می‌توان عنوان کرد که دو ناحیه تحریکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی و صفات گیاهچه‌ای پنبه در محدوده غلظت‌های مورد استفاده وجود دارد. تیمارهای خارج از این محدوده ها اثر بازداری بر طول گیاهچه نسبت به تیمار شاهد داشت.

در آزمایش پرایمینگ بذر اثر هورمتیکی در یک ناحیه مشهودتر بود و بیشترین اثر مربوط به تیمار ۱۰ پی‌پی‌ام بدست آمد. در مقایسه بین دو آزمایش انجام شده می توان گفت اثر غلظت‌های مختلف علف کش بر طول گیاهچه در آزمایش پرایمینگ بذر نسبت به محیط رشد بیشتر بود. در آزمایش محیط رشد غلظت‌های ۱۰ و ۱۶۰ پی‌پی‌ام منجر به اثر افزایشی بر وزن تر و خشک گیاهچه شد اما در آزمایش پرایمینگ بذر غلظت ۱۰

پی‌پی‌ام بیشترین اثر افزایشی را بر وزن خشک و تر داشت. و اثر غلظت‌های مختلف گلایفوزیت بر وزن تر و خشک گیاهچه در آزمایش پرایمینگ بذر نسبت به محیط رشد بیشتر بود. اثر هورمتیکی غلظت‌های گلایفوزیت منجر به افزایش بنیه بذر در هر دو آزمایش شد که این اثر در پرایمینگ بذر محسوس‌تر بود. افزایش شاخص تحمل در آزمایش پرایمینگ نسبت به محیط رشد منجر به اثرات رشدی بهتر در طول گیاهچه و وزن گیاهچه شد در حالی که کاهش سطح سمیت گیاهچه در آزمایش محیط رشد نسبت به پرایمینگ منجر به کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در آزمایش پرایمینگ نسبت به آزمایش محیط رشد شد. اثرات هورمتیکی ناشی از غلظت‌های غیر سمی گلایفوزیت بر جوانه‌زنی بذر پنبه ممکن است مزیت‌هایی را در استقرار و رقابت با علف‌های هرز ایجاد کند. پیشنهاد می‌شود غلظت‌های گلایفوزیت در محدوده های تحریک کننده رشد از نظر آنزیمی بررسی شود تا مکانیسم‌های تحریکی یا بازداری از رشد دقیق‌تر مشخص شود.

منابع

1. Abbas, T., Nadeem, M.A., Tanveer, A., Zohaib, A., and Rasool, T. 2015. Glyphosate hormesis increases growth and yield of chickpea (Cicer arietinum l.). Pakistan Journal of Weed Science Research, 21(4): 533–542.
2. Agathokleous, E., and Calabrese, E.J. 2019. Hormesis can enhance agricultural sustainability in a changing world. Global Food Security, 20: 150-155. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.02.005
3. Anunciato, V.M. 2018. Effects of glyphosate on the growth and reproduction of *Digitaria insularis* biotypes resistant or susceptible to this herbicide. Dissertation, Universidade Estadual Paulista.
4. Asgari, A., and Ghafori, A. 2023. The effects of biochar on improving the tolerance to salinity stress and some growth traits in cotton. Iranian Journal of Cotton Researches, 11(1): 1-12. (in Persian with English Abstract).
5. Ather Nadeem, M., Abbas, T., Tanveer, A., Maqbool, R., Zohaib, A., and Shehzad, M.A. 2017. Glyphosate hormesis in broad-leaved weeds: a challenge for weed management. Archives of Agronomy and Soil Science, 63(3): 344-351.
6. Barbosa, A.P., Zucareli, C., Freiria, G.H., Gomes, G.R., Bazzo, J.H.B., and Takahashi, L.S.A. 2017. Low rates of glyphosate on the process germination and corn seedling development. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, 16(2): 240–250. https://doi.org/10.18512/1980-6477/rbms.v16n2p240-250.
7. Barrena, R., Casals, E., Colón, J., Font, X., Sáchez, A., and Puntes, V. 2009. Evaluation of the ecotoxicity of model nanoparticles. Chemosphere, (75): 850-857.
8. Belz, R.G., and Duke, S.O. 2014. Herbicides and plant hormesis. Pest Management Science, 70: 698-707.
9. Brito, I.P., Tropaldi, L., Carbonari, C.A., and Velini, E.D. 2018. Hormetic effects of glyphosate on plants. Pest Management Science, 74(5): 1064–1070. https://doi.org/10.1002/ps.4523
10. Cedergreen, N., Felby, C., Porter., J.R., and Streibig, J.C. 2009. Chemical stress can increase crop yield. Field Crops Research, 114: 54-57.
11. Cesco, V.J.S., Krenchinski, F.H., Rodrigues, D.M., Alcántara-de la Cruz, R., Duke, S.O., Velini, E.D., and Carbonari, C.A. 2024. Glyphosate hormesis effects on the vegetative and reproductive development of glyphosate-susceptible and-resistant Conyza sumatrensis biotypes. Environmental Pollution, 345: 123504.
12. Chen, L., Liu, L., Lu, B., Ma, T., Jiang, D., Li, J., Zhang, K., Sun, H., Zhang, Y., and Bai, Z. 2020. Exogenous melatonin promotes seed germination and osmotic regulation under salt stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). PLoS ONE, 15: 0228241.

13. de Moraes, C.P., de Brito, I.P., Tropaldi, L., Carbonari, C.A., and Velini, E.D. 2020. Hormetic effect of glyphosate on Urochloa decumbens plants. Journal of Environmental Science and Health, Part B, 55: 376-381.
14. Duke, S.O., Cedergreen, N., Velini, E.D., and Belz, R.G. 2006. Hormesis: is it an important factor in herbicide use and allelopathy? Outlooks on Pest Management, 17(1): 29-33.
15. Duke, S.O., Lydon, J., Koskinen, W.C., Moorman, T.B., Chaney, R.L., and Hammerschmidt, R. 2012. Glyphosate effects on plant mineral nutrition, crop rhizosphere microbiota, and plant disease in glyphosate-resistant crops. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 60: 10375e10397. http://dx.doi.org/10.1021/jf302436u.
16. Egido, L.L.D., Toorop, P.E., and Lanfermeijer, F.C. 2018. Seed priming improves germination of Arabis alpina under thermo-inhibiting conditions. Seed Science and Technology, 46(2): 285-303.
17. Gitti, D.D.C., Arf, O., Peron, I.B.G., Portugal, J.R., Corsini, D.C.D.C., and Rodrigues, R.A.F. 2011. Glyphosate as a growth regulator in upland rice. Pesqui Agropecu´ aria Trop, 41(4): 500–507. https://doi.org/10.5216/pat.v41i4.10160.
18. Harris, D. 2006. Development and testing of on-farm seed priming. Natural Resource Charter Case Studies, 3: 129- 177.
19. Hoseiny-Rad, M., and Jagannath, S. 2011. Effect of herbicide Imazethapyr (pursuit™) on chickpea seed germination. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 44(3): 224-230.
20. ISTA. 1999. International rules for seed testing. Rules 1999.
21. Khan, S., Zhou, J.L., Ren, L., and Mojiri, A. 2020. Effects of glyphosate on germination, photosynthesis and chloroplast morphology in tomato. Chemosphere, 258: 127350.
22. Li, S., Wang, T., Guo, J., Dong, Y., Wang, Z., Gong, L., and Li, X. 2021. Polystyrene microplastics disturb the redox homeostasis, carbohydrate metabolism and phytohormone regulatory network in barley. Journal of Hazardous Materials, 415: 125614. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125614
23. Mobli, A., Matloob, A., and Chauhan, B.S. 2020. Glyphosate-induced hormesis: impact on seedling growth and reproductive potential of common sowthistle (*Sonchus oleraceus*). Weed Science, 68(6): 605–611. https://doi.org/10.1017/wsc.2020.77
24. Moulick, D., Ghosh, D., and Santra, S.C. 2016. Evaluation of effectiveness of seed priming with selenium in rice during germination under arsenic stress. Plant Physiology and Biochemistry, 109: 571-578.
25. Moulick, D., Santra, S.C., and Ghosh, D. 2018. Seed priming with Se mitigates As-induced phytotoxicity in rice seedlings by enhancing essential micronutrient uptake and translocation and reducing as translocation. Environmental Science and Pollution Research, 25: 26978-26991.
26. Nikoumaram, S., and Sepehri, A. 2024. The study of tolerance indices, germination and transfer efficiency of seed reserves in Foxtail Millet seedlings (*Setaria italica* L.) under cadmium and polyvinyl chloride stresses. Journal of Soil and Plant Interactions, 15: 33-50. (in Persian with English Abstract).
27. Nouri, M., and Haddioui, A. 2021. Improving seed germination and seedling growth of Lepidium sativum with different priming methods under arsenic stress. Acta Ecologica Sinica, 41(1): 64-71.
28. Patane, C., Saita, A., and Sortino, O. 2013. Comparative effects of salt and water stress on seed germination and early embryo growth in two cultivars of sweet sorghum. Journal of Agronomy and Crop Science, 199(1): 30-37.
29. Pettigrew, W.T. 2008. The Effect of Higher Temperatures on Cotton Lint Yield Production and Fiber Quality. Crop Science, 48: 278–285.
30. Piotrowicz-Cieslak, A.I., Adomas, B., and Michalczyk, D.J. 2010. Different glyphosate phytotoxicity of seeds and seedlings of selected plant species. Polish Journal of Environmental Studies, 19: 123-129.

31. Reis, S., Pavia, I., Carvalho, A., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., and Lima-Brito, J. 2018. Seed priming with iron and zinc in bread wheat: effects in germination, mitosis and grain yield. Protoplasma, 1–16. https://doi.org/10.1007/s00709-018-1222-4.
32. Sen, A. and Puthur, J.T. 2020. Seed priming-induced physiochemical and molecular events in plants coupled to abiotic stress tolerance: An overview. Priming-mediated stress and cross-stress tolerance in crop plants, pp.303-316.
33. Shakri, I., Yahya, J. and Tabatabai, D. 2017. Investigating germination and seedling growth indices of sorghum lines and cultivars under salinity stress conditions. Iran Seed Science and Technology, 5(2): 65-75.
34. Soares, C., Pereira, R., Spormann, S., and Fidalgo, F. 2019. Is soil contamination by a glyphosate commercial formulation truly harmless to non-target plants? -evaluation of oxidative damage and antioxidant responses in tomato. Environmental Pollution, 247: 256-265.
35. Tu, M., Hurd, C., Robison, R., and Randall, J.M. 2001. Glyphosate. Weed control methods handbook, the nature conservancy. http://tncweeds.ucdavis.edu/products/ handbook/14.Glyphosate.pdf
36. Velini, E.D., Trindade, M.L., and Barberis, L.R.M. 2010. Growth regulation and other secondary effects of herbicides. Weed Science, 58(3): 351-354. https://doi.org/10.1614/WS-D-09-00028.1
37. Zobiole, L.H.S., Bonini, E.A., de Oliveira, R.S., Kremer, R.J., and Ferrarese-Filho, O. 2010. Glyphosate affects lignin content and amino acid production in glyphosateresistant soybean. Acta Physiologiae Plantarum, 32: 831-837.