

Evaluation of water deficit stress and weed competition effects on the yield and biochemical composition of tubers of new potato cultivars

Ali babazadeh anari^{1*}, Hamidreza Mohammaddost chaman abad²,
Davoud Hasanpanah³, Yousef Jahani jelodar⁴

^{*1} Corresponding author, PhD student, Department of Plant Production Engineering and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, mail: aliba07.ab@gmail.com

² Professor of Weed Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: hr_chamanabad@yahoo.com

³ Professor, Agricultural and Horticultural Research Department, Ardabil Province (Moghan) Agricultural Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Email: hassanpanah_d@yahoo.com

⁴ Associate Professor, Agricultural and Horticultural Research Department, Ardabil Province (Moghan) Agricultural Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Email: yousef_jahani2010@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

ABSTRACT

Background and Objectives: Potato (*Solanum tuberosum* L.) is the fourth most important food crop in the world after wheat, rice, and maize, and due to its production potential, it can play a significant role in global food security. Nowadays, with the intensification of the water scarcity crisis, its production faces serious challenges, further exacerbated by the presence of weeds, the hidden bioterrorists of agricultural ecosystems. Plants, in response to such conditions, exhibit various biochemical reactions, including proline accumulation, enhanced activity of antioxidant enzymes such as peroxidase, and changes in hydrogen peroxide (H₂O₂) concentration. These indicators represent the plant's defense mechanisms against stress and can serve as criteria for identifying tolerant cultivars. The aim of this study was to investigate the interactive effects of water deficit stress and weed competition on the biochemical traits and yield of three new potato cultivars.

Article history:

Received: 2025-8-30

Accepted: 2025-11-14

Materials and Methods: The experiment was conducted during the 2023 growing season at the Potato Research Farm of the Agricultural Research Center of Ardabil, in a split-factorial design based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications. The main factor included three irrigation levels (100, 75, and 50% of field capacity), the first sub-factor included two competition levels (with and without weeds), and the second sub-factor included three potato cultivars: Agria, Rona, and Takta. Biochemical indices, including proline, peroxidase enzyme, and leaf H₂O₂, were measured, and at the end of the growing season, tuber yield and water use efficiency were recorded. Data were analyzed using analysis of variance (ANOVA) and mean comparison.

Keywords:

Antioxidant enzymes
Oxidative stress
Water scarcity crisis
Weed competition

Results: The results revealed that drought stress and weed competition significantly affected biochemical traits and yield. Weed competition increased proline content by an average of 13%. Drought stress also led to an increase in proline, such that under 75% and 50% field capacity treatments, proline levels were 27.5% and 52.7% higher than the control, respectively. Among the cultivars, Takta exhibited the highest proline accumulation under drought and competition conditions, whereas Rona showed the lowest response. Weed competition also enhanced peroxidase activity, particularly in Takta under non-stress conditions, where it was 25% higher. Hydrogen peroxide (H₂O₂) concentration varied among cultivars: in Agria and Rona, the presence of weeds

reduced H₂O₂ levels, while in Takta, an increase was observed. Tuber yield was strongly affected; weed competition reduced yield by an average of 7 t ha⁻¹. The greatest yield reduction occurred in Rona (16.5%), while Takta showed the lowest reduction (11%). Moreover, severe drought stress caused a 34% yield decline. Evaluation of water use efficiency indicated that, with increasing stress intensity, water use efficiency improved, particularly in Agria under severe drought without weed competition.

Conclusions: The present study demonstrated that potato cultivars respond differently to drought stress and weed competition, and that variations in proline, peroxidase, and H₂O₂ are key indicators of tolerance. Cultivars such as Agria (with higher water use efficiency) and Takta (with greater proline accumulation) showed higher potential for cultivation under conditions of water deficit and weed competition. These findings can be utilized in breeding programs and the development of management strategies aimed at enhancing the sustainability of potato production under biotic and abiotic stresses.

Cite this article: Babazadeh Anari, A., Mohammaddost chaman abad, H.R., Hasanpanah, D., Jahani jelodar, Y. 2025. Evaluation of water deficit stress and weed competition effects on the yield and biochemical composition of tubers of new potato cultivars. *Crop Production Journal*, 18 (3), 129-146.



© The author(s)



[10.22069/ejcp.2026.24000.2708](https://doi.org/10.22069/ejcp.2026.24000.2708)

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



تولید گیاهان زراعی

شاپا چاپی: ۲۳۹۸-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷۴۰۳-۲۰۰۸



بررسی اثرات تنش کم آبی و رقابت علف‌های هرز بر عملکرد و ترکیبات بیوشیمیایی غده ارقام جدید سیب‌زمینی

علی بابازاده اناری^{۱*}، حمیدرضا محمد دوست چمن‌آباد^۲، داوود حسن‌پناه^۳، یوسف جهانی جلودار^۴

^{*} نویسنده مسئول، دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

رایانامه: aliba07.ab@gmail.com

^۲ استاد رشته علوم علف‌های هرز، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: hr_chamanabad@yahoo.com

^۳ استاد بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. رایانامه: hassanpanah_d@yahoo.com

^۴ دانشیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. رایانامه: yousef_jahani2010@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی - پژوهشی	سابقه و هدف: سیب‌زمینی (<i>Solanum tuberosum</i> L.) چهارمین محصول غذایی مهم جهان پس از گندم، برنج و ذرت است و با توجه به توان تولید آن می‌تواند سهم بسزایی در امنیت غذایی جهان داشته باشد. امروزه با تشدید بحران کمبود آب، تولید آن را با چالش جدی روبرو ساخته است و حضور علف‌های هرز، این بیوتورویسم‌های پنهان در اکوسیستم‌های کشاورزی، این بحران را تشدید می‌کنند. گیاهان در پاسخ به چنین شرایطی، واکنش‌های بیوشیمیایی مختلفی از جمله تجمع پرولین و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نظیر پراکسیداز و تغییرات غلظت پراکسید هیدروژن (H_2O_2) نشان می‌دهند. این شاخص‌ها بیانگر سازوکار دفاعی گیاه در برابر تنش بوده و می‌توانند معیاری برای شناسایی ارقام متحمل باشند. هدف این پژوهش، بررسی اثرات متقابل تنش کم‌آبی و رقابت علف‌های هرز بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد سه رقم جدید سیب‌زمینی بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۶/۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۸/۲۴	مواد و روش‌ها: آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی سیب‌زمینی مرکز تحقیقات کشاورزی اردبیل به صورت اسپلیت-فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتور اصلی شامل سه سطح رطوبتی (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی)، فاکتور فرعی شامل دو سطح رقابت (با و بدون علف‌های هرز) و فاکتور فرعی دوم شامل سه رقم آگریا، رونا و تکتا بود. شاخص‌های بیوشیمیایی شامل پرولین، آنزیم پراکسیداز و H_2O_2 برگ اندازه‌گیری شدند و در پایان فصل رشد عملکرد غده و کارایی مصرف آب ثبت گردید. داده‌ها با استفاده از تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها تحلیل شدند.
واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بحران کم‌آبی تنش اکسیداتیو و رقابت علف‌های هرز	یافته‌ها: نتایج نشان داد که تنش خشکی و رقابت علف‌های هرز به‌طور معنی‌داری باعث تغییر در صفات بیوشیمیایی و عملکرد غده سیب‌زمینی شدند. رقابت علف‌های هرز سطح پرولین را به‌طور میانگین ۱۳ درصد افزایش داد. همچنین تنش خشکی موجب افزایش پرولین شد، به‌طوری‌که در

تیمارهای ۲۵ و ۵۰ درصد کم آبی، میزان پرولین به ترتیب ۷/۵۲ و ۷/۲۲ درصد بیشتر از شاهد بود. در این میان، رقم تکتا بالاترین تجمع پرولین را تحت شرایط خشکی و رقابت نشان داد، در حالی که واکنش رقم رونا کمتر بود. رقابت علف‌های هرز همچنین باعث افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز شد؛ به‌ویژه در رقم تکتا در شرایط بدون تنش که ۲۵ درصد بیشتر بود. غلظت H_2O_2 بسته به رقم متفاوت بود؛ در ارقام آگريا و رونا حضور علف‌های هرز سبب کاهش H_2O_2 شد، اما در تکتا بالعکس، افزایش آن مشاهده گردید. عملکرد غده به‌شدت تحت تأثیر قرار گرفت؛ رقابت علف‌های هرز عملکرد را به‌طور متوسط ۷ تن در هکتار کاهش داد. بیشترین کاهش عملکرد در رقم رونا (۱۶/۵٪) و کمترین در تکتا (۱۱٪) بود. همچنین، خشکی شدید باعث افت ۳۴ درصدی عملکرد گردید. بررسی کارایی مصرف آب نشان داد که با افزایش شدت تنش، کارایی مصرف آب به‌ویژه در رقم آگريا در تیمار خشکی شدید بدون رقابت افزایش یافت.

نتیجه‌گیری: پژوهش حاضر نشان داد که واکنش ارقام سیب‌زمینی به تنش خشکی و رقابت علف‌های هرز متفاوت است و تغییرات پرولین، پراکسیداز و H_2O_2 شاخص‌های کلیدی تحمل محسوب می‌شوند. ارقامی مانند آگريا (با کارایی بالای مصرف آب) و تکتا (با تجمع بالاتر پرولین) پتانسیل بالاتری برای کشت در شرایط کم آبی و رقابت علف‌های هرز دارند. این یافته‌ها می‌توانند در اصلاح ارقام و تدوین برنامه‌های مدیریتی برای افزایش پایداری تولید سیب‌زمینی در شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی به‌کار روند.

استناد: بابازاده اناری، علی؛ محمد دوست چمن‌آباد، حمیدرضا؛ حسن‌پناه، داوود؛ جهانی جلودار، یوسف. (۱۴۰۴). بررسی اثرات تنش کم آبی و رقابت علف‌های هرز بر عملکرد و ترکیبات بیوشیمیایی غده ارقام جدید سیب‌زمینی. مجله تولید گیاهان زراعی، ۱۸ (۳)، ۱۴۶-۱۲۹.



[10.22069/ejcp.2026.24000.2708](https://doi.org/10.22069/ejcp.2026.24000.2708)

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان



مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) یک منبع غذایی با سطح زیر کشت گسترده و مهمترین محصول غیرغلاتی در جهان است. این گیاه در بیش از ۱۵۰ کشور جهان کشت می‌شود و با ارزش تولید ۶۳/۶ میلیارد دلار آمریکا در سال ۲۰۱۶، اهمیت جهانی قابل‌توجهی داشته و از کیفیت تغذیه‌ای بالایی برخوردار است، که به عنوان یک ماده غذایی اصلی برای میلیون‌ها نفر به شمار می‌رود و می‌تواند به امنیت غذایی جمعیت رو به رشد کمک کند. تنوع ژنتیکی سیب‌زمینی، از جمله اقوام وحشی آن، فرصت‌هایی را برای پرورش ارقام جدیدی فراهم می‌کند که در برابر تنش‌های محیطی مقاوم‌تر و حاوی مقادیر قابل توجهی مواد مغذی باشند. این سازگاری و پتانسیل بالای سیب‌زمینی به عنوان یک محصول ارزشمند اقلیمی، آن را به یک دارایی با ارزش برای نسل‌های آینده تبدیل کرده است (۱، ۲ و ۳).

خشکی یا تنش آبی یکی از مهمترین تنش‌های غیرزیستی است که عامل کاهش جدی عملکرد محصولات زراعی در سراسر دنیا است و با تغییرات اقلیمی در دهه‌های اخیر به یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در تولید گیاهان زراعی تبدیل شده است (۴). در چنین شرایطی حضور و رقابت علف‌های هرز که بهتر است به آن‌ها بیوتروریسم‌های پنهان گفته شود، به دلیل توانایی در جذب آب و مصرف بالای آن می‌تواند تاثیر کمبود آب را تشدید نماید. کارایی مصرف آب (WUE) در ارقام سیب‌زمینی به دلیل تنوع ژنتیکی متفاوت است؛ به‌طوری که ارقام دیررس مانند رقم آگریا به دلیل توسعه سیستم ریشه عمیق‌تر و دوره رشد طولانی‌تر، معمولاً کارایی مصرف آب بالاتری نسبت به ارقام زودرس مانند (Desiree) دارند (۵). تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب نیز متفاوت و به رقم بستگی دارد. نتیجه مطالعه مونووکس و

همکاران (۲۰۱۳) نیز بر اهمیت مکانیسم‌های تنظیم اسمزی و حفظ کارایی مصرف آب برای تحمل خشکی تأکید دارد (۶). در مطالعه نوری و همکاران (۲۰۲۲) بر روی ارقام سیب‌زمینی، نتایج نشان داد که تحت تنش شدید خشکی، رقم ساوالان با مکانیسم‌های تنظیم اسمزی و حفظ عملکرد نسبی، کارایی مصرف آب خود را بیش از ۱۱ درصد نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل) بهبود بخشید، در حالی که رقم مارفونا کاهش معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد در میزان کارایی مصرف آب نشان داد. از سوی دیگر، رقابت علف‌های هرز به‌طور جدی کارایی مصرف آب گیاه را کاهش داد (۷). پژوهش نلسون و تورسون (۱۹۸۱) ثابت کرد وجود علف هرز سلمه‌تره (*Chenopodium album*) به مدت ۶ هفته پس از سبز شدن سیب‌زمینی، می‌تواند تا ۵۰ درصد از عملکرد غده و در نتیجه کارایی مصرف آب بکاهد، چرا که علف‌های هرز با مصرف آب و مواد مغذی، منابع را از دسترس گیاه اصلی دور و خارج می‌کنند. بنابراین، مدیریت یکپارچه علف‌های هرز، انتخاب ارقام متحمل به خشکی و آبیاری بهینه برای بهبود کارایی مصرف آب در سیب‌زمینی ضروری است (۸).

پیش‌بینی تغییرات در متغیرهای اقلیمی و الگوی بارندگی را نشان می‌دهد که بهبود تحمل محصولات زراعی به تنش‌های محیطی برای تولید غذا بسیار حیاتی است (۹). بنابراین، بهبود تحمل به تنش خشکی ارقام زراعی یکی از ضروریات در برنامه‌های اصلاحی محصولات زراعی برای امنیت غذایی قابل اطمینان تبدیل شده است (۱۰ و ۱۱). همانطوریکه گفته شد تحمل به خشکی در ارقام سیب‌زمینی متفاوت است. در برخی از ارقام یکسری فرایندها مانند سیستم ریشه‌ای عمیق‌تر یا توانایی بستن روزنه‌ها برای کاهش ازدست رفتن آب، تنظیم اسمزی یا تولید آنتی‌اکسیدان، نقش حیاتی در توانایی آن‌ها برای رشد

بزرگترین چالش‌ها در توسعه کشاورزی پایدار پیشرفته بدست آوردن دانش جدیدی است که اجازه اصلاح و مهندسی گیاه را با صفات زراعی دل‌خواه بدهد (۲۵).

هدف از این تحقیق نیز ارزیابی تاثیر سطوح مختلف تنش خشکی در ارقام مختلف سیب‌زمینی، بررسی نقش رقابت علف‌های هرز، مقایسه پاسخ فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ارقام مورد مطالعه و تعیین اثرات متقابل تنش خشکی و رقابت علف‌های هرز بر عملکرد و کارایی مصرف آب ارقام سیب‌زمینی است که توجه به اهمیت درک علم پایه مولکولی و بیوشیمیایی در پاسخ به تنش خشکی و تحمل به آن، توسط دانش پایه و چشم‌انداز علمی، می‌تواند استراتژی‌های جدیدی برای تحمل به خشکی در گیاهان، برای شناسایی، اصلاح و تولید محصولات زراعی مقاوم و متحمل به تنش‌ها ایجاد کند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۴۰۲ در مزرعه تحقیقاتی سیب‌زمینی مرکز تحقیقات کشاورزی اردبیل، بصورت اسپیلت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. عامل‌های مورد مطالعه شامل سه سطح تنش خشکی (صفر (شاهد)، ۲۵ و ۵۰ درصد تنش (به ترتیب تامین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی)) به عنوان عامل اصلی، عامل رقابت شامل دو سطح با و بدون رقابت علف هرز و عامل سوم شامل سه رقم سیب‌زمینی (آگریا، رونا و تکتا) بود.

تیمارها در کرت‌هایی به طول ۴ و عرض ۳ متر، به صورت جوی پشته‌ای با فاصله ردیف ۷۵ سانتی-متر، فاصله بوته روی ردیف ۲۵ سانتی-متر و عمق کاشت ۱۰ سانتی‌متر کشت شد. پس از کاشت هر کرت به دو قسمت مساوی تقسیم شد که در یکی از آن‌ها علف‌های هرز در طول فصل رشد کنترل شد و

و بقا در شرایط محدودیت آب ایفا می‌کنند (۱۴، ۱۳، ۱۲ و ۱۵). تغییر مقدار پرولین، آنزیم پراکسیداز و پراکسید هیدروژن درون سلول‌های گیاهی یکی از واکنش‌های گیاه به تنش‌های محیطی است. امامی بیست‌گانی و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی که بر روی گیاه دارویی آویشن دناپی انجام دادند نشان دادند که محتوای پرولین در شرایط تنش بیشتر از محتوای پرولین در شرایط غیر تنش است (۱۶). در تحقیقات مشاهده شده است که رقابت با علف‌های هرز می‌تواند بر میزان پرولین در گیاهان تأثیر بگذارد که این تأثیر بر عملکرد و رشد گیاهان زراعی نمود پیدا می‌کند. برای مثال، در یک تحقیق، مشاهده شد که رقابت علف‌های هرز با گیاه سویا باعث افزایش میزان پرولین در گیاه شد (۱۷ و ۱۸). در بررسی تأثیر تنش شوری و خشکی بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در شیرین‌بیان مشخص شد که فعالیت پراکسیداز در تنش شوری و خشکی، ابتدا کاهش و سپس با ادامه تنش افزایش پیدا می‌کند (۱۹). مطالعات نشان داد که در شرایط رقابت با علف‌های هرز، غلظت آنزیم پراکسیداز در گیاهان افزایش می‌یابد. این افزایش نشان از فعالیت بیشتر این آنزیم در پاسخ به شرایط تنش حضور علف‌های هرز و رقابت حاصل از حضور آن‌ها است (۲۰). همچنین مطالعات ثابت کرده است که فعالیت آنزیم پراکسیداز در گیاه سیب‌زمینی تحت شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد، که بخشی از مکانیسم دفاعی آنتی‌اکسیدانی گیاه برای کاهش آسیب اکسیداتیو است. پیش‌بینی شده که تحت شرایط تنش خشکی بیشتر از ۲۳ درصد از کل پراکسید هیدروژن تجمع یافته به دلیل تنفس نوری است (۲۱). برخی از پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند که کاربرد پراکسید هیدروژن در غلظت‌های پایین می‌تواند در بهبود تحمل به تنش‌های غیرزیستی مانند خشکی (۲۲) گرما (۲۳) و عناصر سنگین (۲۴) موثر باشد. یکی از

در قسمت دوم علف‌های هرز در طول فصل باقی ماندند. کلیه عملیات داشت شامل خاک‌دهی پای بوته و سم‌پاشی بر علیه آفت سوسک کلرادو و بیماری‌های مهم سیب‌زمینی به طور یکنواخت در کلیه کرت‌ها اعمال شد. به منظور تعیین زمان‌های آبیاری، از روش تشتک تبخیر کلاس A استفاده شد. بدین منظور میزان تبخیر روزانه از تشتک تبخیر اندازه‌گیری و پس از رسیدن به مقادیر تبخیر تجمعی معادل نیاز آبی گیاه، آبیاری انجام گرفت. حجم آب مصرفی برای هر تیمار بر اساس ضرایب تبخیر گیاه سیب‌زمینی (K_c) و راندمان سامانه آبیاری (E_i) محاسبه شد، به‌طوری که تیمارهای تأمین ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب بیانگر شرایط بدون تنش، تنش ملایم و تنش شدید خشکی بودند. محاسبه مقادیر مذکور بر پایه رابطه زیر انجام گرفت:

$$I = (E_p \times K_c \times E_i)$$

که در آن E_p میزان تبخیر از تشتک (میلی‌متر در روز)، K_c ضریب گیاهی و E_i راندمان آبیاری است. مصرف کودهای اوره در سه نوبت قبل از کشت، جوانه‌زنی و غده‌زایی، کود فسفاته در دو نوبت قبل از کشت و غده‌زایی و کود پتاسه قبل از کاشت در یک نوبت بر اساس آزمون خاک انجام شد. کارایی مصرف آب سیب‌زمینی در تیمارهای مختلف تحت آزمایش، با محاسبه نسبت میزان ماده خشک تولید شده به آب مصرفی خالص گیاه که در تحقیق فوق برای محاسبه حجم آب آبیاری از کنتور استفاده شد اندازه‌گیری شد (۲۶).

سنجش سطح پرولین: ابتدا معرف اسید نین-هیدرین تهیه شد. برای تولید این معرف ۱/۵ گرم پودر نین-هیدرین را با ۳۵ میلی‌لیتر از استیک اسید ۱۰ درصد مخلوط کرده و سپس کمپلکس بدست آمده، تا زمان حل شدن کامل نین-هیدرین در استیک اسید تحت حرارت قرار گرفت. در ادامه مقدار ۲۰

میلی‌لیتر فسفریک اسید ۶ مولار به مخلوط فوق اضافه شد. به منظور تثبیت کامل معرف حاصل، محلول در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار گرفت. در مرحله بعد ۰/۰۲ گرم بافت برگ تازه را در ۱۰۰ میلی‌لیتر سولفوسالسیلیک اسید سه درصد درون هاون چینی سائیده تا مخلوط همگنی حاصل شد؛ پس از آن کمپلکس حاصل با ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد. دو میلی‌لیتر از روشناور و دو میلی‌لیتر از معرف نین‌هیدرین تهیه شده را با دو میلی‌لیتر استیک اسید ۱۰ درصد به درون لوله آزمایشی انتقال داده و به مدت زمان یک ساعت در بن‌ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شود. در ادامه برای ممانعت از انجام یکسری واکنش‌های جانبی، سریعاً لوله‌های آزمایشی در حمام یخ خنک می‌شود. پس از آن به هرکدام از محلول‌های بدست آمده مقدار ۶۴ میلی‌لیتر تولوئن اضافه می‌گردد و لوله‌های آزمایشی با سرعت و شدت تکان داده می‌شوند؛ سپس لوله‌ها ثابت نگه داشته می‌شود تا دو لایه مجزا در آن‌ها شکل بگیرد. در نهایت از لایه رنگی روی لوله‌های آزمایشی که دربرگیرنده تولوئن و پرولین بود، برای سنجش سطح پرولین، بدین صورت که مقدار مشخصی از لایه رنگی را برداشته و میزان جذب نور توسط آن در طول موج ۵۲۰ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر سنجیده می‌شود و بر اساس میکرومول بر گرم وزن‌تر ثبت می‌شود (۲۷).

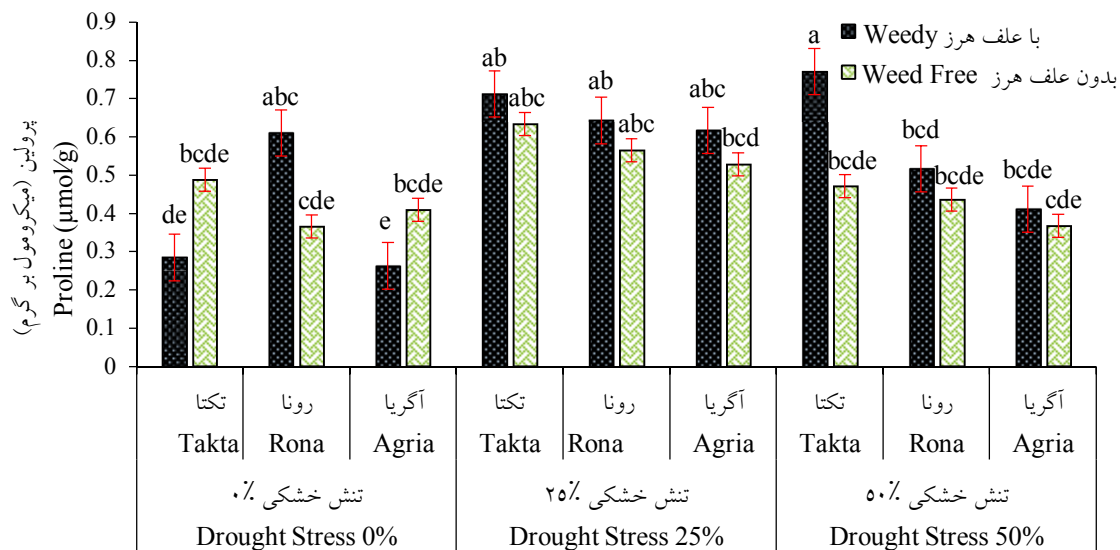
فعالیت آنزیم پراکسیداز: ابتدا ۵۰ میکرولیتر از عصاره آنزیمی به ۲/۵ میلی‌لیتر محلول واکنش که شامل تریس‌کلریدریک ۱۰۰ میلی‌مولار، آب اکسیژنه ۵ میلی‌مولار و پیروگال (Pyrogallol) ۱۰ میلی‌مولار است در حمام یخ اضافه و میزان تغییرات جذب در طول موج ۴۲۵ نانومتر خوانده شد. یک نمونه برای مقایسه فعالیت آنزیم به عنوان شاهد (Blank) استفاده شد. در این نمونه به جای ۵۰ میکرولیتر عصاره

تمامی داده‌های بدست آمده از صفات مورد مطالعه در نرم افزار Excel 2013 ثبت شد و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابتدا آزمون نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون کولموگروف اسمیرنوف بر روی داده‌های اندازه‌گیری شده، انجام شد. سپس تجزیه واریانس با نرم‌افزار آماری SPSS 17.0 صورت گرفت.

نتایج و بحث

تجزیه آماری داده‌ها نشان داد که عامل‌های تنش خشکی، رقابت و ارقام تاثیر معنی‌داری بر مقدار پرولین سیب‌زمینی داشت (جدول ۱). رقابت علف-های هرز به عنوان یک تنش زیستی بطور میانگین پرولین ارقام سیب‌زمینی را ۱۳ درصد افزایش داد. همچنین، بررسی اثر تنش خشکی بر میزان پرولین در ارقام مورد مطالعه نشان داد که بروز تنش خشکی سبب افزایش سطح پرولین در ارقام سیب‌زمینی شد. به‌طوری‌که در تیمار تنش خشکی ۲۵ و ۵۰ درصد مقدار پرولین در مقایسه با شاهد (عدم تنش) به ترتیب ۵۲/۷ درصد و ۲۲/۷ درصد بیشتر بود.

آنزیمی بافر تریس کلریدریک ۰/۰۵ مولار قرار داده شد. در آخر فعالیت آنزیم بر اساس میزان تغییرات جذب در میکروگرم پروتئین بر دقیقه محاسبه گردید. مقدار فعالیت آنزیم بر حسب تغییرات جذب نور بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین بیان شد (۲۸). میزان هیدروژن پراکسید (H_2O_2) برگ: یک گرم نمونه برگ سیب‌زمینی را خرد نموده و داخل فالکن‌های ۱۵ میلی‌لیتری ریخته و سپس ۵ میلی‌لیتر محلول تری کلرواستیک اسید (Trichloroacetic Acid) ۱ درصد اضافه شد. نمونه هموژن شده با سرعت ۹۰۰۰ دور در دقیقه به مدت زمان ۳۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. در مرحله بعد ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول رویی به میکروتیوب‌های ۲ میلی‌لیتری منتقل شده و به آن‌ها به ترتیب ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول بافر فسفات پتاسیم (Phosphate buffered saline) ۱۰ میلی‌مولار (pH=۷) و یک میلی‌لیتر از محلول یک مولاریدید پتاسیم (KI) اضافه گردید. میزان جذب با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۳۹۰ نانومتر بدست آمد و میزان هیدروژن پراکسید بر اساس مول بر لیتر بر ثانیه بیان شد (۲۹).



شکل ۱- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تنش خشکی و رقابت علف‌های هرز بر میزان پرولین ارقام سیب‌زمینی

Figure 1- Comparison of Average Effects of Drought Stress and Weed Competition on the Amount of Proline of Potato Cultivars

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در ارقام مورد مطالعه سیب‌زمینی

Table 1. The Results of Analysis of the Variance of the Traits Measured in the Studied Potato Cultivars

کارایی مصرف آب	عملکرد	پراکسید هیدروژن	پراکسیداز	پرولین	درجه آزادی	منابع تغییر
Water Use Efficiency	Yield	Hydrogen peroxide	Peroxidase	Proline	df	S.O.V
1.52**	39.313**	0.056**	0.995**	0.129**	2	تکرار
70.788**	3745.985**	0.028**	1.794**	0.146**	2	خشکی
0.336	14.313	9.637	0.003	0.001	4	خطای اول
64.046**	1114.864**	0.2**	0.001 ^{ns}	0.057**	1	رقابت
37.709**	598.319**	0.184**	1.312**	0.27**	2	رقم
0.687**	20.145**	0.037**	0.863**	0.112**	2	رقابت×خشکی
7.841**	138.509**	0.019**	2.071**	0.093**	4	رقم×خشکی
0.777**	13.689**	0.125**	0.172**	0.031**	2	رقابت×رقم
0.254**	7.037 ^{ns}	0.028**	0.519**	0.375**	4	رقابت×رقم×خشکی
0.089	2.31	9.374	0.002	0.001	138	خطا
2.7	5.57	8.67	3.34	9.52	---	ضریب تغییرات (درصد)
						CV (%)

* و ** به ترتیب: معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد، ns: غیرمعنی‌دار

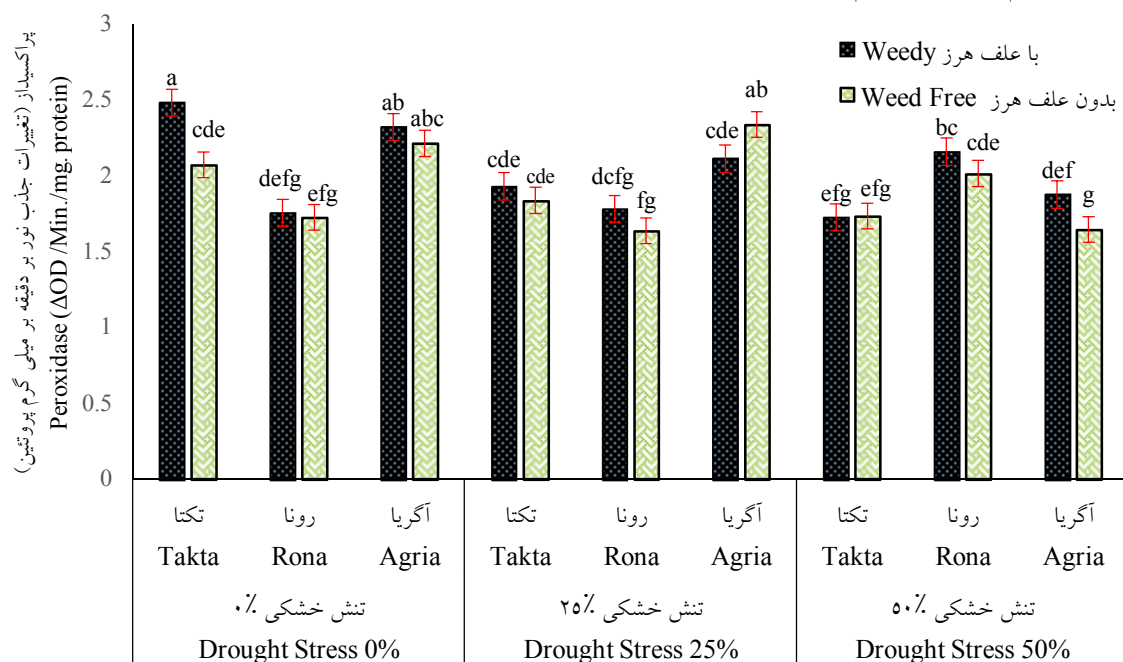
* and **: Significant at 5 and 1 % probability levels, respectively. ns: non significant

نتایج نشان داد که تاثیر تنش خشکی و رقابت علف‌های هرز بر مقدار پرولین سیب‌زمینی معنی‌دار بود (شکل ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که واکنش مقدار پرولین ارقام سیب‌زمینی به تنش خشکی و رقابت علف‌های هرز متفاوت بود. مقدار پرولین رقم تکتا در تیمار تنش خشکی ۲۵ و ۵۰ درصد و رقابت علف‌های هرز به ترتیب ۱/۵ و ۱/۷ برابر بیش از مقدار آن در تیمار شاهد بود، در حالی که در رقم رونا در تیمار تنش ۲۵ درصد همراه با رقابت علف‌های هرز مقدار پرولین تنها ۵/۴ درصد بیش از تیمار شاهد این رقم بود (شکل ۱). تجمع مقدار پرولین در نتیجه

بروز تنش پاسخ فیزیولوژیکی به عنوان یک محافظ در حفظ تعادل اسمزی گیاه است که ممکن است در نتیجه کاهش مصرف پرولین در سنتز پروتئین طی تنش باشد. در یک تحقیق، مشاهده شد که رقابت علف‌های هرز با گیاه سویا باعث افزایش میزان پرولین در گیاه می‌شود (۳۰). در تحقیقات دیگر، دیده شده که مدیریت شیمیایی علف‌های هرز می‌تواند بر میزان پرولین و فعالیت آنزیم پراکسیداز گیاه تأثیر بگذارد و سبب کاهش سطح آن‌ها شود. همچنین در گیاه پنبه، تنش کم‌آبی باعث افزایش سطح پرولین و دیگر اسیدهای آمینه آزاد شده است، اما در مورد رقابت با

علف‌های هرز، سطح پرولین تغییری نکرده است (۳۱). رقابت علف‌های هرز، بر میزان آنزیم پراکسیداز و اثر متقابل رقابت، رقم و خشکی بر عملکرد سیب‌زمینی تاثیر معنی‌داری نداشت. برعکس، همه فاکتورهای مورد مطالعه و اثرات متقابل آنها تاثیر بسیار معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه سیب‌زمینی داشت (جدول ۱). نتایج نشان داد که رقابت علف‌های هرز در تیمارهای مختلف تنش خشکی موجب افزایش آنزیم پراکسیداز ارقام سیب‌زمینی شد. رقابت

علف‌های هرز، سطح پرولین تغییری نکرده است (۳۱). رقابت علف‌های هرز، بر میزان آنزیم پراکسیداز و اثر متقابل رقابت، رقم و خشکی بر عملکرد سیب‌زمینی تاثیر معنی‌داری نداشت. برعکس، همه فاکتورهای مورد مطالعه و اثرات متقابل آنها تاثیر بسیار معنی‌داری بر صفات مورد مطالعه سیب‌زمینی داشت (جدول ۱). نتایج نشان داد که رقابت علف‌های هرز در تیمارهای مختلف تنش خشکی موجب افزایش آنزیم پراکسیداز ارقام سیب‌زمینی شد. رقابت



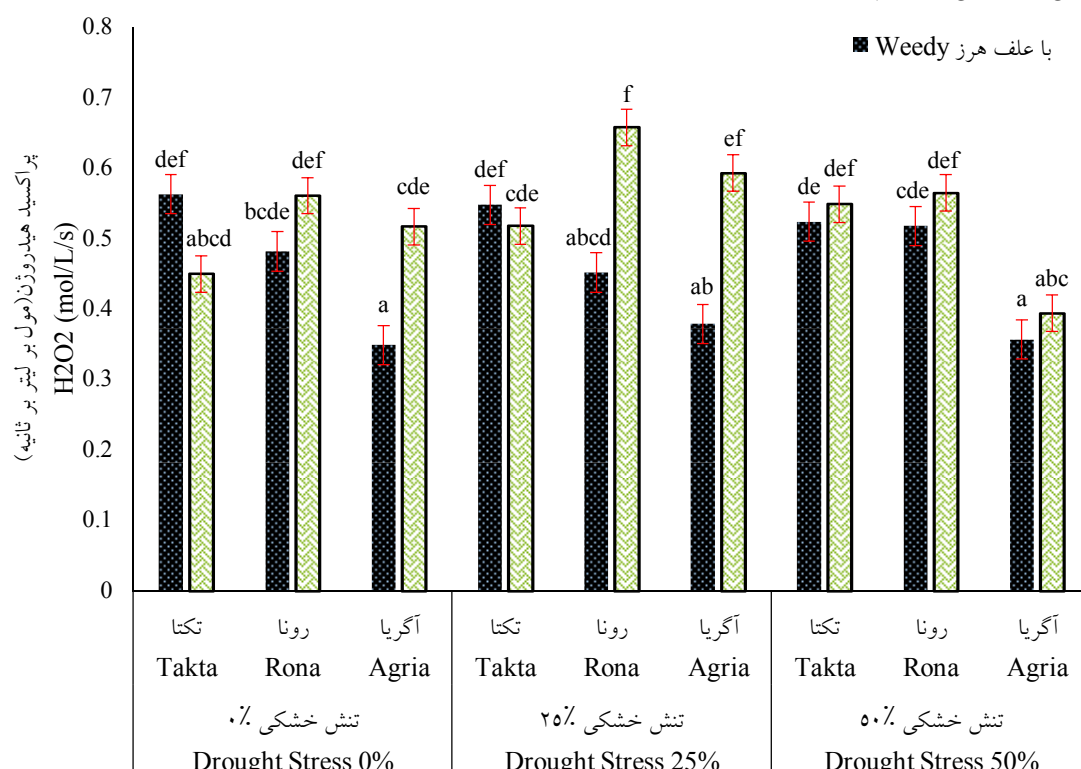
شکل ۲- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تنش خشکی و رقابت علف‌های هرز بر میزان آنزیم پراکسیداز ارقام سیب‌زمینی
Figure 2- Comparing the Averages of Mutual Effects of Drought Stress and Weed Competition on Peroxidase Enzyme Levels of Potato Cultivars

پایین‌ترین میزان از این آنزیم را داشت. این نشان می‌دهد که تحمل این رقم به تنش خشکی ۵۰ درصد کمتر از سایر ارقام مورد مطالعه بوده است. همچنین در شرایط عدم وجود رقابت، بیشترین میزان از آنزیم پراکسیداز در رقم آگریا و در تنش خشکی ۲۵ درصد مشاهده شد و کمترین میزان آن هم در رقم رونا و در تنش خشکی ۲۵ درصد وجود داشت (شکل ۲).

بررسی ارقام بدون در نظر گرفتن تنش رقابت علف‌های هرز و تنش خشکی نشان داد که رقم آگریا بیشترین و رقم رونا کمترین میزان از آنزیم پراکسیداز را دارا بودند (شکل ۲). مقایسه ارقام تحت شرایط تنش خشکی ۲۵ و ۵۰ درصدی و وجود رقابت علف‌های هرز نشان داد که رقم رونا بالاترین میزان از آنزیم پراکسیداز را در تنش خشکی ۵۰ درصد دارا بود و در طرف مقابل رقم تکتا در تنش خشکی ۵۰ درصد

اکسیژن (ROS) است که نقش مهمی را به عنوان یک مولکول سیگنال در فرآیندهای فیزیولوژیکی مختلف ایفا می‌کند. مقادیر H_2O_2 در طول تنش‌های محیطی افزایش می‌یابد. در یک تحقیق، مشاهده شد که تنش علف‌های هرز می‌تواند بر پراکسید هیدروژن در گیاه سیب‌زمینی تأثیر بگذارد و این تأثیر را بر عملکرد و رشد گیاه زراعی داشته باشد. بطوریکه کنترل علف‌های هرز به وسیله مالچ زنده ذرت و تأثیر آن بر دو رقم سیب‌زمینی، بر میزان پراکسید هیدروژن در گیاه سیب‌زمینی مشاهده شد که سبب کاهش سطح پراکسید هیدروژن در این دو رقم شد (۳۲).

فاکتورهای مورد مطالعه و اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر مقدار پراکسید هیدروژن برگ سیب‌زمینی داشتند (جدول ۱). در هر سه سطح تنش مقدار پراکسید هیدروژن ارقام آگریا و رونا در تیمار عدم رقابت علف‌های هرز بیشتر از تیمار رقابت علف‌های هرز بود. برعکس، در رقم تکتا رقابت علف‌های هرز مقدار پراکسید هیدروژن را در تیمار شاهد (عدم تنش خشکی) و تنش ۲۵ درصد به ترتیب ۴۵ و ۳۰ درصد افزایش داد (شکل ۳). پراکسید هیدروژن عمدتاً در سلول‌های گیاهی در طول فتوسنتز و تنفس نوری و به میزان کمتری در فرآیندهای تنفسی تولید می‌شود و پایدارترین گونه‌های فعال



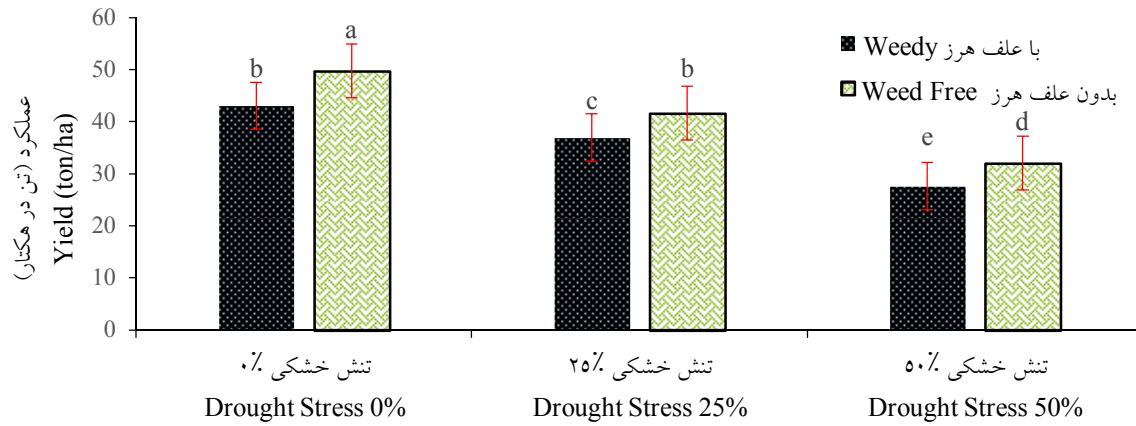
شکل ۳- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تنش خشکی و رقابت علف‌های هرز بر میزان پراکسید هیدروژن ارقام سیب‌زمینی
Figure 3. Comparing the Averages of Mutual Effects of Drought Stress and Weed Competition on the Amount of Hydrogen Peroxide in Potato Cultivars

رطوبت، رقابت علف‌های هرز عملکرد سیب‌زمینی را ۷ تن در هکتار کاهش داد (شکل ۴). رقم رونا با ۱۶/۵ درصد کاهش عملکرد بیشترین و رقم تکتا با ۱۱

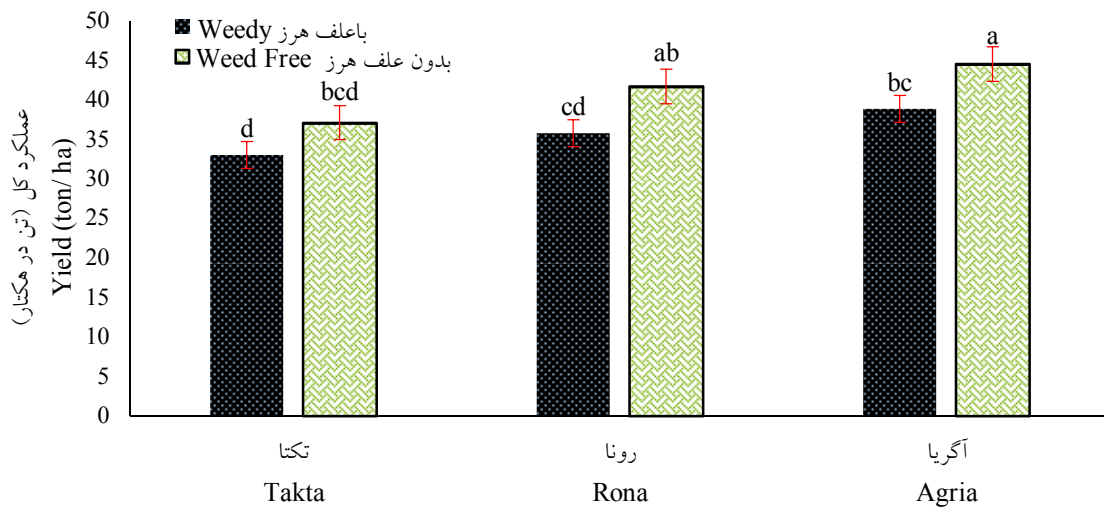
فاکتورهای مورد مطالعه و اثرات متقابل دوجانبه آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر عملکرد سیب‌زمینی داشتند (جدول ۱). بطور میانگین در شرایط عدم تنش

نیز افت عملکرد سیب‌زمینی افزایش یافت و در تیمار تنش ۵۰ درصد عملکرد ۳۴ درصد کاهش یافت (شکل ۴).

درصد کاهش، کمترین افت عملکرد حاصل از رقابت با علف‌های هرز را داشتند (شکل ۵). نتایج حاصل از تجزیه ترکیبات بیوشیمیایی نشان داد که رقم تکتا تحمل بیشتری به تنش‌ها دارد. با افزایش تنش خشکی



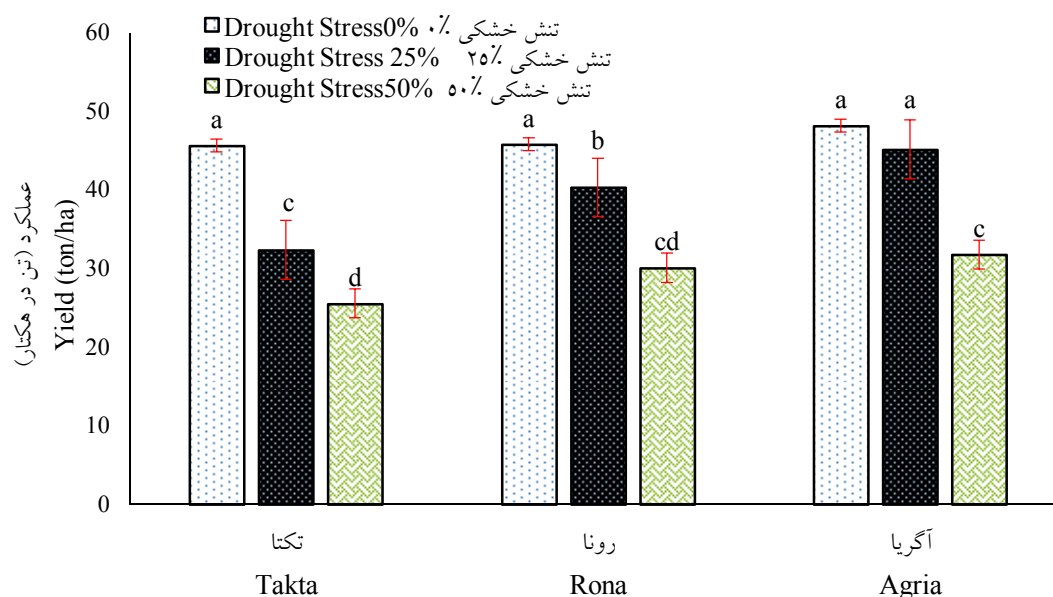
شکل ۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقابت علف‌های هرز و تنش خشکی بر عملکرد ارقام سیب‌زمینی
Figure 4. Comparing the Averages of the Mutual Effects of Weed Competition and Drought Stress on the Yield of Potato Cultivars



شکل ۵- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل رقابت علف‌های هرز و ارقام بر عملکرد سیب‌زمینی
Figure 5. Comparing the Averages of the Mutual Effects of Weed and Cultivar Competition on the Yield of Potato Cultivars

از کمبود رطوبت در آن‌ها متفاوت بود. رقم آگریا و تکتا به ترتیب کمترین و بیشترین افت عملکرد ناشی از تنش خشکی را داشتند (شکل ۶).

مقایسه میانگین عملکرد ارقام نشان داد که، اگرچه هر سه رقم مورد مطالعه در شرایط عدم تنش رطوبت عملکرد نسبتاً یکسانی داشتند، اما افت عملکرد ناشی



شکل ۶- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تنش خشکی و ارقام بر عملکرد ارقام سیب‌زمینی

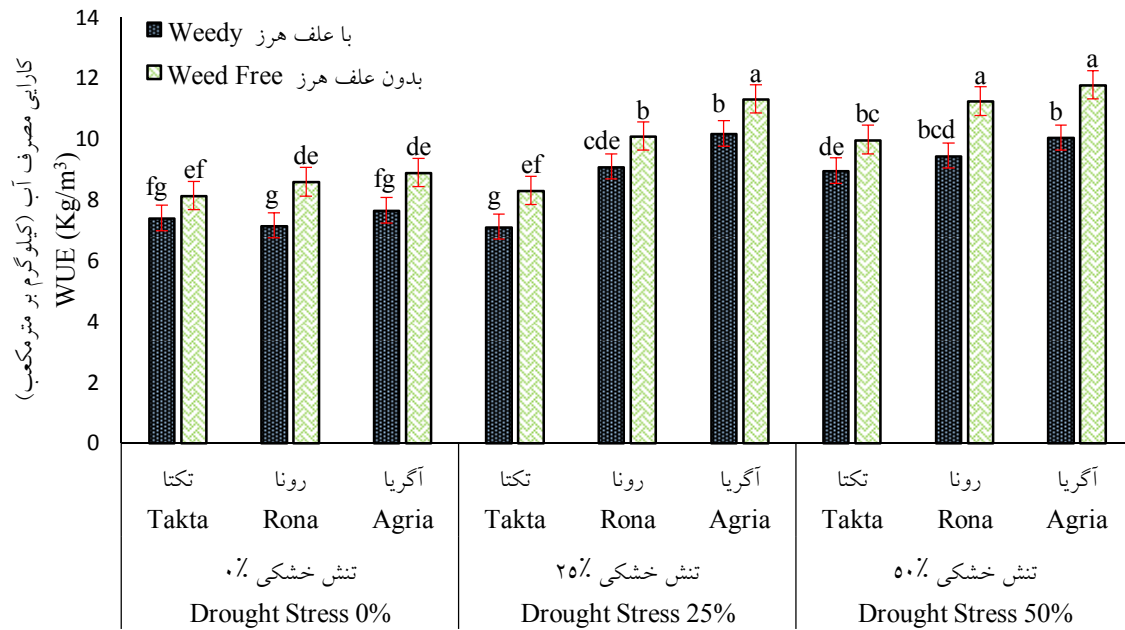
Figure 6. Comparing the Averages of Mutual Effects of Drought Stress and Cultivars on the Yield of Potato Cultivars

(رقم ساتینا) تا ۸۴ درصد (در رقم آگریا) متغیر بود. ساتینا بالاترین شاخص رقابتی^۱ را نشان داد و توده خشک علف هرز را به طور قابل توجهی در مقایسه با اسپریت کاهش داد (۳۵).

بر اساس مطالعات ربیعی و همکاران (۲۰۱۰)، برخی ارقام سیب‌زمینی مانند مارادونا، راموس، ری مارکا، دیامانت، آگریا، مارفونا، آئولا و دراگا شاخص‌های تحمل خشکی مناسبی از خود نشان داده و در شرایط تنش خشکی عملکرد بهتری را دارا بودند. این ارقام با ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی خاص، مقاومت به خشکی را نشان دادند. استفاده از این ارقام مقاوم به خشکی می‌تواند در کشت و برداشت سیب‌زمینی در شرایط تنش خشکی مؤثر باشد (۳۶).

میزان تحمل و یا حساسیت ارقام به تنش‌های محیطی و زیستی در عملکرد آنها نمود پیدا می‌کند که نتیجه تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ایجاد شده می‌باشد. نتایج یافته‌های محمد دوست و بخشی (۲۰۱۶) بر روی توانایی رقابتی ارقام گندم نشانگر تاثیر منفی رقابت بر عملکرد ارقام مورد مطالعه بود. بطوری‌که عملکرد ناشی از حضور علف‌های هرز، افت بیش از ۲۵ درصدی را داشت (۳۳). تداخل علف‌های هرز به طور قابل توجهی بر عملکرد سیب‌زمینی اثر منفی داشت. چنانچه مطالعات نشان داد وقتی هیچ تاکتیک برای مدیریت علف هرز اجرا نشود، رقابت علف‌های هرز می‌تواند منجر به افت عملکرد بین ۱۲ تا ۶۱ درصد در سیب‌زمینی شود (۳۴). نورالهی (۲۰۱۹) بیان داشت که کاهش عملکرد سیب‌زمینی ناشی از رقابت علف‌های هرز از ۳ درصد

¹ Competitive Index



شکل ۷- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل تنش خشکی و رقابت علف‌های هرز بر کارایی مصرف آب ارقام سیب‌زمینی
Figure 7. Comparison of average effects of drought stress and weed competition on water use efficiency of potato cultivars

علف‌های هرز این رشد کارایی مصرف آب حتی نسبت به شرایط رقابتی علف‌های هرز بیشتر بوده و رشد ۱۹/۹ درصدی نشان داد. در تنش خشکی ۵۰ درصد نیز افزایش کارایی مصرف آب ارقام رشد ۲۸/۸ درصدی داشت (شکل ۷).

نتایج نشان داد که رقم آگریا در تیمار تنش خشکی ۵۰ درصد و در شرایط بدون رقابت علف‌های هرز بالاترین کارایی مصرف آب را داشت اگرچه تفاوت معنی‌داری با کارایی مصرف آب رقم رونا در همین تیمار نداشت. همچنین رقم آگریا در تیمار تنش خشکی ۲۵ درصد و رقابت علف‌های هرز نیز بالاترین کارایی مصرف آب را در بین ارقام مورد مطالعه داشت (شکل ۷). در شرایط تنش آب و محدودیت مقدار آن، کارایی مصرف آب صفت مطلوب‌تری نسبت به عملکرد برای مقایسه تیمارهای مورد مطالعه است (۱۲). گراویس و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی، پاسخ‌های

نتایج نشان داد که رقابت با علف‌های هرز بطور کلی سبب کاهش راندمان مصرف آب ارقام مورد مطالعه شد، به‌طوری‌که رقابت علف‌های هرز با ارقام سیب‌زمینی باعث افت ۱۴/۶ درصدی کارایی مصرف آب ارقام شد (شکل ۷). همچنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بروز تنش خشکی و افزایش سطح آن، باعث افزایش میزان کارایی مصرف آب ارقام شد، به‌طوری‌که در تیمار تنش خشکی ۲۵ و ۵۰ درصد کارایی مصرف آب به ترتیب ۱۷/۳ و ۲۸/۴ درصد افزایش یافت (شکل ۷). رقابت علف‌های هرز همراه با اعمال تنش خشکی ۲۵ درصد، باعث رشد ۱۸/۷ درصدی کارایی مصرف آب ارقام شد. با افزایش سطح تنش خشکی به ۵۰ درصد، کارایی مصرف آب ارقام حتی تحت چنین شرایطی افزایش یافت و ۲۸/۱ درصد بالاتر از مقدار کارایی مصرف آب تیمار شاهد (بدون تنش خشکی) بود. از طرفی با اعمال تنش خشکی ۲۵ درصدی، بدون حضور

کارایی مصرف آب متفاوتی در برابر تنش خشکی نشان دادند؛ ژنوتیپ‌های متحمل، کارایی مصرف آب آنی بالاتری نسبت به ژنوتیپ‌های حساس، تحت تأثیر فتوستز نشان دادند (۳۷).

نتیجه گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که هر دو عامل تنش خشکی و رقابت علف‌های هرز تأثیر چشمگیری بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد سیب‌زمینی دارند، اما شدت و جهت این اثر در میان ارقام متفاوت است. افزایش پرولین و فعالیت آنزیم پراکسیداز در ارقام متحمل، بیانگر نقش سازوکارهای تنظیم اسمزی و دفاع آنتی‌اکسیدانی در کاهش آثار منفی تنش است. در مقابل، تغییرات غلظت پراکسید هیدروژن به‌عنوان

شاخصی از تنش اکسیداتیو، میزان حساسیت ارقام را آشکار می‌سازد. ارقام آگرایا و تکتا به‌ترتیب به‌دلیل کارایی بالاتر مصرف آب و توان تجمع بیشتر پرولین، در شرایط کم‌آبی و رقابت با علف‌های هرز عملکرد پایدارتری داشتند؛ در حالی که رقم رونا حساسیت بیشتری نشان داد. بر این اساس، استفاده از این دو رقم در مناطق با محدودیت منابع آبی یا آلودگی بالای علف‌های هرز توصیه می‌شود. در مجموع، یافته‌ها بیانگر آن است که شاخص‌های بیوشیمیایی نظیر پرولین، پراکسیداز و H_2O_2 می‌توانند ابزار مؤثری برای غربال‌گری و اصلاح ارقام متحمل باشند و به تدوین راهبردهای مدیریتی در راستای افزایش پایداری تولید سیب‌زمینی تحت تنش‌های زیستی و غیرزیستی کمک نمایند.

References

1. Dolnicor, P. (2021). Importance of potato as a crop and practical approaches to potato breeding. *Methods of Molecular Biology* (humana, New York, NY), 2354:3-20.
2. Aksoy, E., demirel, U., bakhsh, A., Abu Bakar Ziya, M., Naeem, M., Saeed, F., Çalışkan, S. & Çalışkan, M. E. (2021). Recent advances in potato (*solanum tubersum* L.) breeding. *Middle East Technical University of the Punjab*. pp.409-487.
3. Oritz, O. & Mares, V. (2017). *International Potato Centre*. pp.1-10.
4. Yang, S., Vanderbeld, B., Wan, J. & Huang, Y. (2010). Narrowing down the targets: towards successful genetic engineering of drought-tolerant crops. *Molecular Plant*, 3, 479-490.
5. Hijmans, R. J. (2003). The effect of climate change on global potato production. *American Journal of Potato Research*, 80(4), 271-279.
6. Monneveux, P., Ramírez, D. A., & Pino, M. T. (2013). Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.): Can we learn from drought tolerance research in cereals. *Plant Science*, 205-206, 76-86.
7. Nouri, A., Nezami, A., Kafi, M., & Hassanpanah, D. (2022). Effect of deficit irrigation on water use efficiency and tuber dry matter of potato cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 20(1), 1-13. doi:10.22067/gsc.v19i1.60189.
8. Nelson, D. C., & Thoreson, M. C. (1981). Competition between potatoes and weeds. *Weed Science*, 29(6), 672-677.
9. Lamb, R. S. (2012). Abiotic stress responses in plants: a focus on the SRO family, In: Montanaro G. (ed.). *Advances in selected plant physiology aspects, INTECH open access publisher, Croatia*, pp.1-21.
10. Zarepour Moshizi, M., Yousefi, A., Amini, A. M. & Shojaei, P. (2022). Rural vulnerability to water scarcity in Iran: an Integrative methodology for evaluating exposure, sensitivity and adaptive capacity. *Geo Journal*, 88 (2), 2121-2136.
11. Doosti Sabzi, B., Yazdi, N. & Maleki, A. (2023). Technological solutions for adaptation with Iran's water resources crisis. *Urban Climate Adaptation and Mitigation. Elsevir*. pp.327-343.

12. Akash VPS, Panghal AK and Bhatia N. 2023. Productive and economic evaluation of potato hybrids under different water stress conditions. *International Journal of Plants and Soil Science*, 35 (10), 174-183.
13. Salehi Soghadi, Z., Manschadi, A. M. & Hans Peter, K. (2023). Transportation efficiency of some potato genotypes under drought. *Agronomy*, 13 (4), 996-996.
14. Peer, J. (2023). Drought stress resistance indicators of chickpea varieties grown under deficit irrigation conditions. *PeerJ*, 11 (0), 14818-14818.
15. Pysarenko, N., Sydorhuk, V., Zakharchuk, N. A. & Hordiienko, V. (2023). Screening of promising potato hybrids by drought tolerance indices. *Plant Varieties Studying and Protection*, 19 (1), 35-43.
16. Emami Bistgani, Z., Siadat, S. A., Bakhshandeh, A. & Ghasemi Pirbalouti, A. (2017). The effect of drought stress and elicitor of chitosan on photosynthetic pigments, proline, soluble sugars and lipid peroxidation in *Thymus deanensis* Celak. In Shahrekord climate. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10, 12-19. [In Persian]
17. Rezaei, A. & Yousefi Rad, M. (2014). Investigating yield and yield components, protein and proline of fodder corn under drought stress conditions. In *proceedings of National Conference on New Topics in Agriculture*. SID. <https://sid.ir/paper/851140/fa>. (In Farsi)
18. Samadi, A., Hassani, A. & Gholamhossein, M. (2021). Effect of potassium solubilizing biofertilizers application compared to potassium sulfate on growth and some physiological traits of radish (*Raphanus sativus* L.) under drought stress. *Journal of Horticultural Science*, 34(4), 633-643. [In Persian]
19. Hojjati, M., Modarres Sanavy, A. M. M., Karimi, M. & Ghanati, F. (2011). Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. *Acta Physiologia Plantarum*, 33 (1), 105-112.
20. Babazadeh Anari A. (2021). The study of effective traits in competition with weeds in native iranian wheat cultivars. masters. master's thesis. Faculty of Agriculture and Natural Resources. Mohaghegh Ardabili University. Iran
21. Noctor, G., Veljovic-Jovanovic, S., Driscoll, S., Novitskaya, L. & Foyer, C. (2002). Drought and oxidative load in the leaves of C3 plants: a predominant role for photorespiration. *Annals of Botany*, 89, 841-850.
22. He, L., Gao, Z., & Li, R. (2009). Pretreatment of seed with H₂O₂ enhances drought tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. *Afr J Biotechnol*, 8, 6151-6157.
23. Gao, Y., Guo, Y. K., Lin, S. H., Fang, Y. Y. & Bai, J. G. (2010). Hydrogen peroxide pretreatment alters the activity of antioxidant enzymes and protects chloroplast ultrastructure in heatstressed cucumber leaves. *Sci Hortic*, 126, 20-26.
24. Hu, Y., Ge, Y., Zhang, C., Ju, T. & Cheng, W. (2009). Cadmium toxicity and translocation in rice seedlings are reduced by hydrogen peroxide pretreatment. *Plant Growth Regul*, 59, 51-61.
25. Duque, A.S., de Almeida, A. M., da Silva, A. B., da Silva, J. M., Farinha, A. P., Santos, D., Fevereço, P., & de Sousa Araújo, S. (2013). Abiotic stress responses in plants: unraveling the complexity of genes and networks to survive. In: Vahdati K., Leslie C. (eds.), Abiotic stress-plant responses and applications in agriculture, *INTECH-Open Access Publisher, Croatia*, pp.49-101.
26. Kaplan, M. & Orman, S. (1998). Effect of elemental sulfur and sulfur containing waste in a calcareous soil in turkey. *Journal of Plant Nutrition*, 21, 1655-1665.
27. Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39(1), 205-207.
28. Karo, M. & Mishra, D. (1976). Catalase, peroxidase and polyphenol oxidase activity during rice leaf senescence. *Plant Physiology*, 57, 315-319.
29. Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant Cell and Environment*, 24, 1337-1344.

30. Panahi, H., & Rahimi, A. (2020). The study of proline accumulation and yield components of soybean (*Glycine max* L.) under weed competition stress. *Journal of Plant Environmental Research*, 8 (2), 45-58.
31. Omrani, M., Ahmadi, A. R. & Rostami Borojeni, M. (2016). Evaluation of the effect of chemical management of weeds on the amount of proline and peroxidase enzyme activity of shallot plant. In *Proceeding of National Conference of New Researches in Agricultural Engineering, Environment and Natural Resources, Karaj*, <https://civilica.com/doc/753945>. [In Persian]
32. Adavi, Z. (2017). Weeds control by living mulch of maize and their effect on Two Potato Cultivars. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11 (2), 453-468. [In Persian]
33. Mohammaddoust Chamanabad, H.R., & Bakhshi, M. (2016). Study of effective morpho-physiological characteristics on wheat competitive ability against weeds. *Agricultural Sciences and Sustainable Production*, 26(1), 57-66. [In Persian]
34. Zahoor, A. G., Soltani, N., McKenzie-Gopsill, A. G., Felix, J., Hutchinson, P. J. S., Dille, J. A. J. & Sikkema, P.H. (2023). Potential potato yield loss from weed interference in the United States and Canada. *Weed Technology*, 37, 21-24.
35. Nourollahi, F. (2019). Evaluating the competitive ability of potato cultivars with weeds. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17 (4).
36. Rabiei, K., Khodambashi, M., & Rezaei, A. (2010). Evaluation of drought tolerance indices in potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars]. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 41 (1), 17-28.
37. Geravis, T., Creelman, A., Xiu-Qing, L., Bizimungu, B., De Koeper, D. & Dahal, K. (2021). Potato response to drought stress: physiological and growth basis. *Frontiers in Plant Science*, 12, 698060.

