

Investigating the effect of seed priming with ultraviolet radiation under different irrigation regimes on the quantitative and qualitative performance of sugar beet (*Beta vulgaris* L.), cultivar Dorotea

Mehrdad Molavi¹, Esmail Nabizadeh^{1*}, Hamze hamze², Soran Sharafi¹

(Received: 6 April. 2025 ; Accepted: 27 Sep. 2025)

How to cite this article:

Nabizadeh E, Molavi M, Hamze H, Sharafi S. Investigating the effect of seed priming with ultraviolet radiation under different irrigation regimes on the quantitative and qualitative performance of sugar beet (*Beta vulgaris* L.), cultivar Dorotea. Journal of Sugar Beet. 2025: (41)1. 133-152. (In Persian with English abstract). DOI: 10.22092/jsb.2025.369073.1384.

Extended Abstract

Introduction

Sugar beet is a major source of sugar and is particularly sensitive to drought, which can cause yield reductions of 5-30%, especially in arid regions such as Iran. Drought stress adversely affects crop productivity by limiting water availability. Seed priming, especially with low doses of UV radiation, has shown promise in enhancing germination and growth under stress conditions by improving water uptake and activating antioxidant defense mechanisms. Although UV radiation is generally harmful, low doses can enhance plant resilience to environmental stresses. Given Iran's arid climate, sugar beet production faces significant challenges, underscoring the need for strategies to reduce water consumption while maintaining yields. This study investigates the effects of UV-B priming on alleviating water stress in sugar beet, an area that remains relatively underexplored

Materials and Methods

This two-year field study (2021-2023) was conducted at the research farm of Mahabad University, Iran. The experiment was arranged as a split-plot design within a randomized complete block design with three replications. The main plots were assigned two irrigation regimes: normal (irrigation after 60 mm

evaporation) and drought stress (irrigation after 120 mm evaporation). Sub-plots received UV-B seed priming treatments at three levels: control (UV1), 4 kJ m⁻² (UV2), and 6 kJ m⁻² (UV3). Seeds of the 'Dorothy' cultivar were sterilized and exposed to the respective UV-B doses using NARVA lamps prior to sowing. Crop management followed standard agronomic practices. The measured parameters included leaf relative water content, leaf area index, leaf proline content, root yield, and sugar-related traits (sugar content, white sugar yield, and extraction coefficient of sugar). Data were analyzed using SAS software (v. 9.1) for analysis of variance and mean comparisons (LSD test at 5% significance level). Additionally, biplot analysis was performed using the FactoMineR package in R Studio

Results and Discussion

The findings of this study demonstrate that UV-B seed priming significantly modulates the physiological and agronomic responses of sugar beet to drought stress. A significant year-by-irrigation interaction revealed that drought stress reduced the leaf area index by 19.29% and 37.82% in the first and second years, respectively. Relative water content (RWC) was significantly influenced by the interaction between irrigation and UV priming, with the UV2 treatment under normal irrigation exhibiting the highest RWC (71.79%). Notably, UV2 priming increased RWC by 16.64% and 19.21% under normal and drought conditions, respectively, compared

1. Agro technology Department, Faculty of Agriculture, Water, Food, and Processed Products, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.

*Corresponding author: Nabizadeh.esmaeil@gmail.com

2. Sugar Beet Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Hamedan, Iran.

with the control. Proline content was significantly affected by UV priming and its interaction with irrigation, with the highest accumulation observed under the combined stress of drought and the high-dose UV3 treatment, indicating a synergistic stress response. Furthermore, aerial dry weight and root yield were significantly influenced by these interactions; the UV2 treatment under normal irrigation yielded the highest values and was the only treatment that significantly increased root yield (by 18.43%) under drought stress. While the highest sugar content was associated with UV2 and UV3 treatments under drought stress, UV2 under normal irrigation achieved the maximum white sugar yield (11.97 t ha⁻¹). Importantly, under drought stress, UV2 priming increased white sugar yield by 30.33% compared with the control, highlighting its role in enhancing stress tolerance. Multivariate analysis corroborated these results, with cluster and biplot analyses (explaining 82.1% of total variance) confirming that UV2 under normal irrigation was associated to superior yield components. In contrast, UV2 under drought stress was linked with elevated sugar content, while high-dose UV3 under drought clustered with the highest proline level and the poorest growth

Conclusion

In conclusion, this study demonstrates that seed priming with ultraviolet-B (UV-B) radiation, particularly at the dose of 4 kJ m⁻² (UV2), is as an effective strategy to enhance both the quantitative and qualitative yield of sugar beet under varying irrigation regimes. The UV2 treatment not only significantly improved root yield and sugar content under drought stress but also consistently enhanced key growth and physiological parameters, including leaf relative water content, aerial dry weight,

and sugar yield, under both well-watered and water-deficient conditions. These findings suggest that UV-B priming activates critical physiological and biochemical mechanisms that effectively mitigate the detrimental effects of drought stress while simultaneously improving overall crop performance. Therefore, pre-sowing treatment of sugar beet seeds with an optimal UV-B dose is recommended as a viable and cost-effective agricultural practice to bolster yield stability and sugar productivity in drought-prone environments.

Keywords: Pretreatment, Quantitative characteristics, Sugar content, Water deficit

References

- Rasaei B, Jalali-Honarmand S, Ghobadi M, Zhou G. Effect of ultraviolet radiation and abscisic acid on activity of antioxidant enzymes and physiological and morphological traits of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under different irrigation intervals. *Journal of Plant Ecophysiology*. 2020; 12 (40): 71-53. (in Persian).
Doi:<https://doi.org/10.22034/csrar.2021.226242.1065>
- Li D, Luo Z, Mou W, Wang Y, Ying T, Mao L. ABA and UV-C effects on quality, antioxidant capacity and anthocyanin content of strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.). *Postharvest Biology and Technology*. 2014; (90): 56-62.
Doi:<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.006>
- Sacala E, Demczuk A, Grzyoe E, Prosbabialczyk U, Szajsner H. Impact of pre-sowing laser irradiation of seeds on sugar beet properties. *International Agrophysics*. 2012; 26: 295-300.
Doi:<https://doi.org/10.2478/v10247-012-0042-6>



SBSI



انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

بررسی اثر پرایمینگ بذر با اشعه فرابنفش در شرایط مختلف آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی چغندر قند (*Beta vulgaris* L) رقم دوروتی[†]

مهرداد مولوی^۱، اسمعیل نبی‌زاده^{۲*}، حمزه حمزه^۳، سوران شرفی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۵

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/jsb.2025.369073.1384

۱. نبی‌زاده، م. مولوی، ح. حمزه و س. شرفی، ۱۴۰۴. بررسی اثر پرایمینگ بذر با اشعه فرابنفش در شرایط مختلف آبیاری بر عملکرد کمی و کیفی چغندر قند (*Beta vulgaris* L) رقم دوروتی. چغندر قند ۴۱(۱): ۱۳۳-۱۵۲

چکیده

با هدف بررسی اثر پیش تیمار بذر با اشعه فرابنفش (UV-B) بر خصوصیات کمی و کیفی چغندر قند رقم دوروتی و تیمارهای مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. دو سطح آبیاری معمول و تنش (به ترتیب آبیاری بعد از ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر) با روش آبیاری قطره‌ای به کرت‌های اصلی و پرایمینگ بذر با سطوح شاهد (عدم استفاده از اشعه فرابنفش) (UV1)، ۴ (UV2) kJm^{-2} و ۶ (UV3) kJm^{-2} به کرت‌های فرعی اختصاص داده شدند. نتایج نشان داد تیمار با سطوح UV2 عملکرد شکر را در مقایسه با شاهد به صورت معنی‌دار (۴۰/۶۳ درصد) افزایش داد. درصد قند سفید تحت شرایط کم‌آبی ۹/۴۲ درصد (معادل ۱/۲۷ واحد) در مقایسه با شاهد افزایش یافت، همچنین سطوح UV2 و UV3 درصد قند سفید را در مقایسه با سطح UV1 به ترتیب ۱۲/۸۳ و ۹/۳۰ درصد (معادل ۱/۶۷ و ۱/۲۱ واحد) افزایش دادند. پرایمینگ بذر با سطح UV2 تحت شرایط آبیاری معمول، محتوی نسبی آب برگ، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد ریشه، عیار قند و عملکرد شکر سفید را به ترتیب ۱۶/۶۴، ۱۹/۴۲، ۱۶/۶۸، ۳۵/۰۱ و ۳۶/۸۰ درصد در مقایسه با شاهد افزایش داد. تحت شرایط تنش کمبود آب تیمار با سطح UV2 موجب افزایش محتوی نسبی آب برگ، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد ریشه، عیار قند و عملکرد شکر سفید به ترتیب به میزان ۱۹/۲۱، ۲۷/۷۴، ۱۸/۴۳، ۸/۰۶ و ۳۰/۳۳ درصد و کاهش محتوی پروتئین به مقدار ۵/۰۸ درصد در مقایسه با شاهد شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که پرایمینگ بذر چغندر قند با پرتو فرابنفش (UV)، به‌ویژه در سطح UV2، یک راهبرد مؤثر برای کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی و بهبود عملکرد کمی و کیفی این محصول است.

واژه‌های کلیدی: پیش تیمار، خصوصیات کمی، عیار قند، کم‌آبی.

[†] - این مقاله برگرفته از رساله دانشجویی دکتری است.

۱. دانشجوی دکتری آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد، ایران.

۲. دانشیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد، ایران.

* نویسنده مسئول: Nabizadeh.esmaeil@gmail.com

۳. استادیار بخش تحقیقات چغندر قند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.

۴. استادیار گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، مهاباد، ایران.



مقدمه

چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) یکی از منابع اصلی استحصال شکر بعد از نیشکر است (Ribeiro et al. 2016). میزان تولید سالیانه این محصول ۲۸۷ میلیون تن برآورد شده است (Anonymous 2021). محتویات ریشه چغندر قند شامل ۷۵ درصد آب حدود ۱۸-۲۰ درصد قند و ۵ درصد تفاله است، ذکر این نکته ضروری است که مقدار دقیق قند ریشه این محصول با توجه به نوع رقم و شرایط محیطی رشد محصول از ۸ تا ۲۱ درصد متغیر است. فعالیت‌های به‌نژادی در ۲۰۰ سال گذشته منجر به افزایش درصد قند ریشه از هشت درصد به ۱۸ درصد شده است (Dohm et al. 2014).

خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی مؤثر بر رشد گیاه است که بخش قابل توجهی از تولیدات کشاورزی را به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کاهش می‌دهد (Shirani Rad et al. 2023). هنگامی که گیاهان در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرند، مکانیسم‌های مختلفی را برای غلبه بر اثرات مضر شرایط تنش اتخاذ می‌کنند (Abid et al. 2018; Shiranirad et al. 2023). گیاهان تحت تنش با کمک مکانیسم‌های دفاعی مختلف مانند تغییرات بیوشیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی با تنش مقابله می‌کنند (Oguz et al. 2022). کاهش عملکرد چغندر قند در شرایط آب محدود مشاهده شده است (Hoffman 2010). برآورد شده که محدودیت فعلی منابع آب به‌طور بالقوه تولید چغندر قند در اروپا را بین ۵ تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهد (Chołuj et al. 2014). در مطالعه حمزه و همکاران (Hamze et al. 2024). بر روی چغندر قند تنش کمبود آب به‌صورت معنی‌داری از عملکرد ریشه و محتوی رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی کاست و در مقابل حداکثر محتوی پرولین، قندهای محلول برگ و عیار قند تحت شرایط تنش شدید کم‌آبی به دست آمد. در مطالعه‌ای دیگر بر روی چغندر قند مشخص شد شرایط تنش شدید کم‌آبی منجر به کاهش محتوی نسبی آب برگ، عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید و افزایش محتوی پرولین، عیار قند، درصد قند سفید شد (Mir Mahmoudi et al. 2023). در تحقیق خلیلی و حمزه (Khalili and Hamze

2021). حداکثر صفات شاخص سطح برگ، محتوی آب نسبی برگ، عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص، ضریب استحصال قند و عملکرد قند خالص تحت شرایط آبیاری معمول (آبیاری بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر) ثبت گردید.

برخی از عملیات زراعی را می‌توان برای غلبه بر اثرات مضر تنش خشکی و بهبود رشد و نمو گیاهان به کار برد. پرایمینگ بذر به‌عنوان یک روش پیش از کاشت به‌طور بالقوه می‌تواند با حفظ ساختار بذر، بهبود جذب آب و همچنین اصلاح ژنتیکی، سنتز RNA و پروتئین و مکانیسم‌های آنتی‌اکسیدانی، جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه را تحت تنش‌های غیر زیستی افزایش دهد (Marthandan et al. 2020). مطالعات نشان داده که وقتی موجودات در معرض مقادیر پایینی از پرتوهای یونیزه‌کننده مثل پرتو فرابنفش قرار گیرند، افزایش میزان تقسیم سلول و زنده ماندن سلول‌ها در شرایط سخت در این‌گونه موجودات مشاهده می‌شود بنابراین بررسی جنبه‌های کاربردی پرتوهای مصنوعی در کشاورزی جهت مقاوم نمودن گیاهان به تنش‌های محیطی موضوع جالبی به نظر می‌رسد.

پرتوهای فرابنفش (UV) بخش کمی از طیف نور خورشید که به زمین می‌رسد را شامل می‌شود (تقریباً ۸-۹ درصد) و به سه باند UV-A (۳۲۰-۴۰۰ نانومتر)، UV-B (۲۸۰-۳۲۰ نانومتر) و UV-C (۲۸۰-۲۰۰ نانومتر) تقسیم شده و به‌واسطه‌ی داشتن انرژی زیاد نسبت به نور مرئی، توسط مولکول‌های بیولوژیکی مهمی مثل پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک جذب می‌شوند (Kakani et al. 2003). اگر چه اشعه UV به‌عنوان یک عامل مخرب شناخته شده است اما برخی تحقیقات نشان داده که دزهای پایین (معادل ۹-۰/۵ کیلوژول بر مترمربع) اشعه UV مفید و می‌تواند حساسیت گیاه به تنش‌های محیطی را کاهش دهد (Katerova and Prinsen 2008). پیش‌تیمار بذر با دوزهای پایین UV-B، تحمل تنش غیر زیستی را افزایش داده (Jisha et al. 2013) و پرایمینگ بذر با سطوح کم اشعه ماوراءبنفش از نظر زیست‌محیطی یک روش ایمن برای بهبود تولید و عملکرد محصول و همچنین برای القای تحمل در برابر تنش‌های مختلف در گیاهان زراعی است (Delibaltova and

(Ivanova 2006; Badridze *et al.* 2016). بر اساس تحقیقات باسلار و همکاران (Bacelar *et al.* 2015) گیاهان تیمار شده با اشعه‌ی فرابنفش دارای بالاترین میزان آنتوسیانین، فلاونوئید و کارتنوئید بوده و حتی این ترکیبات سبب شدند که گیاهان در مقابل تنش‌های زنده مثل بیماری‌های گیاهی و تنش‌های غیرزنده مانند خشکی، شوری، سرما و غیره محافظت شوند. نشان داده شده است که پیش تیمار بذرهای کاهو با UV-C می‌تواند اثر تنش شوری را تعدیل کنند (Ouhibi *et al.* 2014).

ایران در منطقه‌ای خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و در سال‌های اخیر به‌شدت تحت تأثیر خشک‌سالی قرار گرفته است. چغندر قند یکی از گیاهان مهم صنعتی است که تحت تأثیر کمبود آب و تنش ناشی از آن قرار گرفته و عملکرد آن به لحاظ کمی و کیفی با کاهش مواجه می‌گردد. از سوی دیگر، چغندر قند یک محصول استراتژیک است که در مراحل اولیه رشد خود به آب کافی نیاز دارد و در طول دوره رشد خود سطوح مختلفی از تنش آبی را

تجربه می‌کند؛ بنابراین یافتن راه‌حلی برای کاهش مصرف آب با حفظ میزان تولید این محصول ضروری است. با توجه به مطالعات انجام‌شده تاکنون، تأثیر پرایمینگ بذر چغندر قند با اشعه فرابنفش (VU) در تعدیل تأثیر تنش کم‌آبی در چغندر قند به‌ندرت مورد آزمایش قرار گرفته است. در صورتی که تیمارهای مذکور بتواند اثر تنش آبی را تعدیل کند مصرف آب این محصول را می‌توان کاهش داد. اثرات زیست‌محیطی ناشی از خشک‌سالی را می‌توان کاهش داد. هدف تحقیق حاضر بررسی تأثیر پرایمینگ با VU-B بر کاهش تنش کمبود آب است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مهاباد (با طول جغرافیایی 36° و 10° و عرض جغرافیایی 45° و 43° و ارتفاع 1320 متر از سطح دریا) در دو سال زراعی $1401-1402$ و $1402-1403$ اجرا شد. مشخصات آب و هوایی محل اجرای آزمایش در جدول ۱ درج شده است.

جدول ۱ خصوصیات آب و هوایی محل اجرای آزمایش در سال زراعی 1401 و 1402

Table 1. Meteorological characteristics of the experimental site during the 2022-23 growing seasons

Months ماه	میانگین درجه حرارت Average Temperature (C°)		میانگین تبخیر Average Evaporation (mm)		میانگین بارندگی Average Precipitation (mm)	
	2022	2023	2022	2023	2022	2023
	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۱	۱۴۰۲
March	9.1	10.20	0	1	20	21
April	14.2	15.3	113	115	2.2	5.3
May	17	15.1	190	193	9.3	7.2
June	20	22.3	283	298	2	3
July	24.6	25.1	276	280	4	1
August	23.4	24.2	271	275	0	0
September	21	20.0	213	210	5.6	3.8
October	14.3	12.7	146	12.1	0.1	2
November	12.1	11.5	90	88	53	60

فرابنفش (سطوح شاهد (UV1)، 4 kJm^{-2} (UV2) و 6 kJm^{-2} (UV3)) به کرت‌های فرعی اختصاص داده شد. پیش از اجرای آزمایش از خاک زمین مورد نظر نمونه‌برداری تصادفی جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی انجام گرفت که نتایج حاصل در جدول ۲ ارائه شده است.

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی دو سطح آبیاری (شرایط معمول (آبیاری بعد از 60 میلی‌متر تبخیر از تشک کلاس A) و تنش کم‌آبی (آبیاری بعد از 120 میلی‌متر تبخیر از تشک کلاس A) (Ghaffari *et al.* 2019; Khalili and Hamze 2021) به کرت اصلی و تیمار بذر با سطوح اشعه

جدول ۲ خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2 Physical and chemical analysis of the experimental soil

عمق Dept h	درصد اشباع Sp	هدایت الکتریکی EC (dS/m)	اسیدیته pH	کربن آلی O.C%	نیتروژن N%	فسفر P ppm	پتاسیم K ppm	شن Sand %	سیلت Silt %	رس Clay %	بافت خاک Soil texture
0-30	44	1.38	8.08	1.4	0.13	14.55	443	15	55	28	Silt clay loam

عملیات آماده‌سازی زمین در بهار شامل اجرای شخم سطحی، دیسک، تسطیح، خاک‌کشی و تهیه خطوط کاشت (با استفاده از شپیر) انجام شد. در هر کرت، ۴ ردیف کاشت به طول ۵ متر و فاصله ردیف‌های کاشت و فاصله بوته روی ردیف به ترتیب ۵۰ و ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. رقم مورد استفاده در این آزمایش دوروتی بود که از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی استان آذربایجان غربی تهیه شد، این رقم به‌صورت گسترده در منطقه مورد آزمایش کشت می‌شود.

پیش از کاشت در مزرعه بذرهای، ابتدا بذرهای با محلول ۰/۱ درصد $HgCl_2$ به مدت ۵ دقیقه استریل شدند و پس از آن با آب مقطر شسته شدند، بذرهای شسته شده به اتاقک UV منتقل و به مدت یک ساعت تحت اشعه ماورای بنفش B با سطوح ذکر شده قرار گرفتند. جهت اعمال اشعه UV از لامپ‌های NARVA (مدل LT 18W/009 UV ساخت کشور آلمان استفاده شد (Sen et al., 2021).

کاشت در هر دو سال در ۱۵ فروردین انجام شد. بعد از کشت بذرهای بلافاصله نخستین آبیاری به‌صورت قطره‌ای (نوار تیپ) انجام شد. بعد از استقرار گیاهان در مرحله ۸ برگی، تیمارهای آبیاری در تیمار آبیاری معمول بعد از ۶۰ میلی‌متر تبخیر و در تیمار تنش کم‌آبی بعد از ۱۲۰ میلی‌متر تبخیر انجام شد. جهت کنترل علف‌های هرز از بتانال پروگرس (علف‌های هرز پهن‌برگ یک‌ساله) استفاده و جهت کنترل آفات به‌خصوص کارادرینا و کک در اوایل فصل از آفت‌کش دیازینون و آوانت و برای کنترل بیماری سفیدک در اواخر تیر و اوایل مرداد از سم کالکسین استفاده گردید.

اندازه‌گیری صفات

محتوی نسبی آب برگ: از هر واحد آزمایشی ۵ برگ بالایی کاملاً رشد یافته برای اندازه‌گیری محتوی نسبی آب برگ بعد از

اعمال تنش کم‌آبی استفاده شدند. وزن تازه (FW) بلافاصله پس از برداشت با استفاده از یک ترازوی دقیق برای وزن کردن برگ تازه انجام شد. سپس تمام نمونه‌ها در آب مقطر غوطه‌ور شده و به مدت ۲۴ ساعت در تاریکی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برگ‌های اشباع‌شده برای به دست آوردن وزن تورژسانس (TW) وزن شدند. نمونه‌های برگ به مدت ۲۴ ساعت در فر با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند تا وزن خشک برگ (DW) اندازه‌گیری شود (Levitt 1980). RWC با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد:

$$RWC = \frac{FW-DW}{TW-DW} \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

برای محاسبه شاخص سطح برگ در مرحله ۱۲ برگی (زمان به حداکثر رسیدن سطح برگ‌ها) از رابطه (۲) استفاده شد.

$$LAI = \frac{LA}{LG} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن LA مساحت برگ و LG مساحت زمین اشغال شده بر حسب متر مربع است. محتوی پرولین: برای اندازه‌گیری محتوی پرولین، در اواخر دوره رشد و پیش از برداشت محصول از برگ‌های چهارم و پنجم هر تیمار آزمایشی، تعداد ۴-۵ برگ به‌منظور نمونه‌برداری انتخاب شد. نمونه‌های تهیه‌شده از هر تیمار، بلافاصله در داخل فویل آلومینیوم پیچیده شده و پس از درج شماره نمونه، در داخل نیتروژن مایع (دمای ۱۹۶- درجه سانتی‌گراد) قرار گرفت تا منجمد شوند. سپس نمونه‌های منجمد شده به داخل فریزر با دمای ۴۰- درجه سانتی‌گراد منتقل گردید. میزان پرولین موجود در برگ بر اساس واکنش با معرف نین هیدرین و اسپکتروفتومتری تعیین شد (Bates et al. 1973).

در هر دو سال برداشت، آزمایش در اواخر مهر انجام شد. در هنگام برداشت پس از حذف حاشیه‌ها (دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای ردیف‌ها) تعداد ریشه‌های هر کرت با دست

انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ انجام و مقایسه میانگین پارامترهای مورد بررسی نیز با استفاده از حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت و برای تجزیه بای‌پلات از بسته‌ی FactoMineR در نرم‌افزار R Studio (V 3.4.4) استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

نتایج آنالیز مرکب داده‌ها نشان داد شاخص سطح برگ به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر اثر سال ($P < 0.05$) و اثر متقابل سال و آبیاری ($P < 0.05$) قرار گرفت (جدول ۳). مقایسات میانگین تیمارها نشان داد سطح معمول آبیاری در سال اول با متوسط ۲/۲۹ بالاترین شاخص سطح برگ را به خود اختصاص داد، کمترین مقدار شاخص مذکور با متوسط ۱/۱۴ و ۱/۰۹ به ترتیب به سطح تنش کمبود آب در سال اول و دوم اختصاص داشت، در این مطالعه در سال اول و دوم تنش کمبود آب شاخص سطح برگ را در مقایسه با شرایط معمول به ترتیب ۱۹/۲۹ و ۳۷/۸۲ درصد کاهش داد (شکل ۱). گفته شده است که تحت شرایط تنش خشکی، اختلال در تقسیم میتوز و توسعه و رشد سلول‌ها رخ می‌دهد و این عوامل، منجر به کاهش شاخص سطح برگ گیاه خواهند شد (Kaya et al. 2006). چغندر قند تحت تأثیر تنش کمبود آب در مطالعه خلیلی و حمزه (Khalili and Hamze 2021) نیز، گزارش شده است.

برداشت، شمارش و وزن شدند. پس از شستشو، توسط دستگاه اتوماتیک خمیر ریشه (پالپ) تهیه و پس از انجماد، در آزمایشگاه تکنولوژی قند تجزیه کیفی نمونه‌ها انجام شد. جهت اندازه‌گیری درصد قند برای هر نمونه مقدار ۲۰ گرم خمیر ریشه‌های برداشت‌شده با ۱۷۷ میلی‌لیتر سواستات سرب (مخلوطی از سه قسمت استات سرب و یک قسمت اکسید سرب) در هم‌زن ریخته و به مدت سه دقیقه مخلوط شدند که پس از منتقل نمودن مخلوط حاصله به قیف صافی، شربت زلالی حاصل گردید. شربت به‌دست‌آمده جهت تجزیه در دستگاه بتالایزر (D- 3016) مورد استفاده قرار گرفت. پلاریمتر بر مبنای میزان انحراف نور پلاریزه، میزان قند موجود در هر نمونه را نشان داد که به‌عنوان درصد قند کل یا ناخالص برای هر کرت ثبت شد.

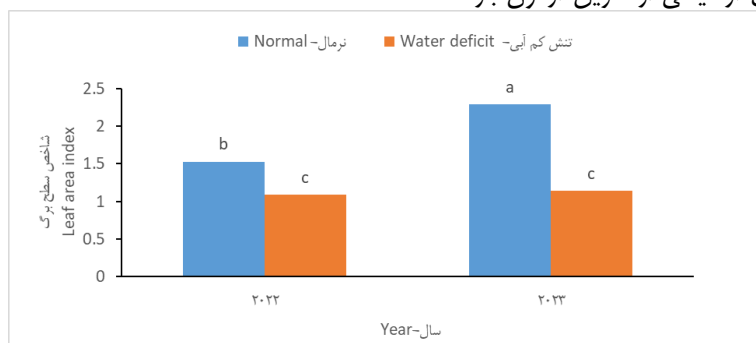
برای تعیین عملکرد قند ناخالص و عملکرد قند خالص، عملکرد ریشه در هر کرت به درصد قند ناخالص و درصد قند خالص مربوط به همان کرت ضرب و سپس ارقام به‌دست‌آمده به‌صورت عملکرد قند ناخالص و قند خالص در هکتار به دست آمد. برای محاسبه درصد قند خالص و ضریب استحصال قند از رابطه ۳ و ۴ استفاده شد.

رابطه ۳ درصد قند ملاس - درصد قند ناخالص = درصد قند خالص

رابطه ۴ درصد قند خالص $\times 100 =$ ضریب استحصال قند

تجزیه و تحلیل داده‌ها

جهت اطمینان از تجانس واریانس‌ها بر روی داده‌های دو سال، آزمون یکنواختی واریانس‌های آزمایشی از طریق آزمون بارتلت



شکل ۱ مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای اثر متقابل سال با آبیاری از نظر شاخص سطح برگ در چغندر قند

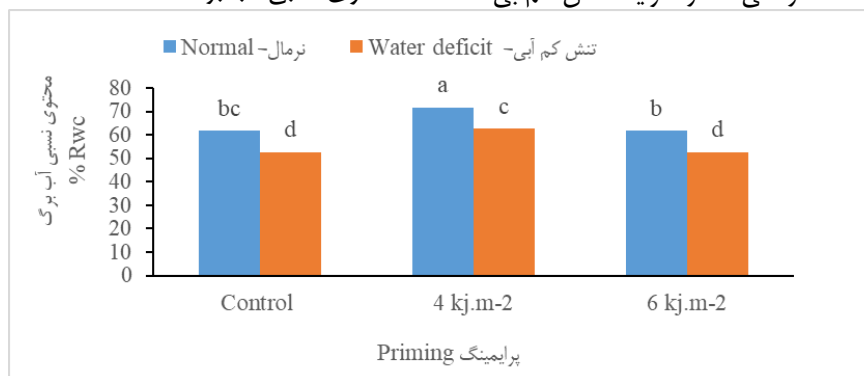
Fig 1 Mean comparison of the interaction effects of year and irrigation treatments on leaf area index in sugar beet

محتوی نسبی آب برگ

نتایج نشان داد اختلاف میان سطوح پرایمینگ بذر با UV (P<0/05) و اثر متقابل آبیاری با پرایمینگ بذر با UV (P<0/05) بر محتوی نسبی آب برگ معنی‌دار بود (جدول ۳). در این بررسی گیاهان تیمار شده با UV2 تحت شرایط آبیاری معمول با متوسط ۷۱/۷۹ درصد بالاترین محتوی نسبی آب برگ را کسب کردند. کمترین مقدار صفت مذکور با متوسط ۵۲/۵۱ درصد به تیمار شاهد و سطح UV3 تحت شرایط تنش کمبود آب اختصاص داشت. در این بررسی تیمار با سطح UV2 در هر دو شرایط معمول و تنش کمبود آب محتوی نسبی آب برگ را در مقایسه با شاهد مربوطه به ترتیب ۱۶/۶۴ و ۱۹/۲۱ درصد افزایش دادند (شکل ۲)، نتایج برنال و همکاران (Bernal et al. 2015)، نشان دادند که اشعه فرابنفش در محدوده UV-B اثرات خشکی را از طریق کاهش هدرروی آب گیاه تعدیل می‌کند. نوگوس و همکاران (Nogues et al. 1998) نیز دریافتند که تابش اشعه UV-B شدت تنش خشکی را در گیاه نخود (*Pisum sativum*) کم می‌کند که این کاهش در ارتباط با کاهش سرعت هدرروی آب است. پژوهش حاجی حسینلو و همکاران (Hagihosseini et al. 2016) بر روی گیاه کدو (*Cucurbita pepo* L) نشان داد که محتوی نسبی آب برگ در تنش توأم خشکی و اشعه UV-B در مقایسه با تنش خشکی بیشتر بود. بر اساس نتایج رسایی (Rasaei 2019) مشخص شد که در شرایط آبیاری کامل کاربرد اشعه UV-B به میزان ۲ کیلوژول بر مترمربع سبب افزایش محتوی نسبی آب برگ شد، درحالی‌که در شرایط تنش کم‌آبی

کاربرد اشعه UV-C با همین میزان انرژی سبب کاهش محتوی نسبی آب برگ گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) نسبت به شاهد شد. این امر مؤید این مطلب است که در شرایط عدم محدودیت رطوبتی، اعمال پرتوی خفیف UV-A و UV-B بر محتوی نسبی آب برگ مثبت است ولی در شرایط تنش کم‌آبی، اعمال پرتوی UV-C اثر بازدارندگی بر محتوی صفت مذکور دارد. در تحقیق حاضر سطح احتمالاً سطح UV3 به دلیل شدت خسارت باعث تخریب غشاء و خروج آب و مواد معدنی از سلول و در نتیجه کاهش محتوی نسبی آب برگ می‌شود (Rasaei et al. 2021). مشخص شده که زیست‌توده گیاهانی که اشعه فرابنفش را قبل از این‌که تحت تنش خشکی قرار بگیرند دریافت نموده‌اند، نسبت به گیاهانی که مستقیماً تحت تنش قرار داشته‌اند کاهش کمتری را در سطح برگ و هدایت روزنه‌ای نشان می‌دهند (Nogues et al. 1998).

نظر به این‌که سطوح بالاتر UV اثر منفی بر رشد گیاه دارند می‌توان اظهار داشت تنش کمبود آب همراه با سطح بالای UV می‌تواند اثر منفی بر محتوی نسبی آب برگ داشته باشد. هنگامی که دسترسی گیاهان به آب در خاک کاهش می‌یابد، بدیهی است که RWC در گیاه کمتر از شرایط آب بهینه است (Shirani Rad et al. 2023). در مطالعه خلیلی و حمزه (Khalili and Hamze 2021) تنش کمبود آب به‌صورت معنی‌داری از شاخص سطح برگ در چغندر قند کاست. در مطالعه شمس برهان و همکاران (Shams Borhan et al. 2023) پرایمینگ بذر چغندر قند با اسید سالیسیلیک اثر مثبتی بر بهبود محتوی نسبی آب برگ داشت.



شکل ۲ مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای اثر متقابل آبیاری با پرایمینگ UV-B از نظر محتوی نسبی آب برگ در چغندر قند

Fig 2 Mean comparison of the interaction effects of irrigation and UV-B priming treatments on relative water content in sugar beet

محتوی پرولین

اثر پرایمینگ بذر با UV ($P < 0.01$) و اثر متقابل آبیاری با پرایمینگ بذر با UV ($P < 0.01$) بر محتوی پرولین معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسات میانگین نشان داد کاربرد سطح UV3 تحت شرایط تنش ($395 \text{ mg g}^{-1} \text{ FW}$) بالاترین محتوی پرولین را کسب کرد. افزایش محتوی پرولین تحت شرایط تنش کم‌آبی مطابق با انتظارات فیزیولوژیک است چراکه پرولین به‌عنوان یک اسمولیت محافظ در پاسخ به تنش‌های غیر زیستی، به‌ویژه خشکی، در گیاهان تجمع می‌یابد. تجمع پرولین به حفظ تعادل اسمزی، حفظ ساختار پروتئین‌ها و آنزیم‌ها و همچنین عمل کردن به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان کمک می‌کند (Khan et al. 2019). پرولین، به‌عنوان یک محافظ اسمز، یکی از مهم‌ترین اسیدهای آمینه است که ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی بالایی دارد و

نقش حیاتی در جلوگیری از مرگ سلولی ایفا می‌کند (Bhardwaj et al. 2012). در واقع، چغندر قند در این مطالعه تحت شرایط تنش کم‌آبی وضعیت آب خود را با افزایش تجمع پرولین و قندهای محلول و کاهش اثرات مضر تنش خشکی (مانند اثر بر محتوی نسبی آب برگ) بهبود بخشیدند. افزایش تجمع پرولین در برگ‌های چغندر قند تحت شرایط تنش کمبود آب در مطالعات دیگری نیز به اثبات رسیده است (Hamze et al. 2024; Mir Mahmoudi et al. 2023). در این آزمایش اعمال هم‌زمان تنش کم‌آبی و پرتوی UV با دوز بالا (UV3) به نظر می‌رسد یک اثر سینرژیک یا هم‌افزایی داشته و گیاه را وادار به تولید حداکثری این ترکیب محافظ برای مقابله با استرس مضاعف کرده است.

جدول ۳ تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مرکب تأثیر تیمارهای پرایمینگ با UV – B بر صفات مورد مطالعه در چغندر قند
Table 3 Combined analysis of variance for the effect of UV–B seed priming on evaluated traits of sugar beet under different moisture conditions.

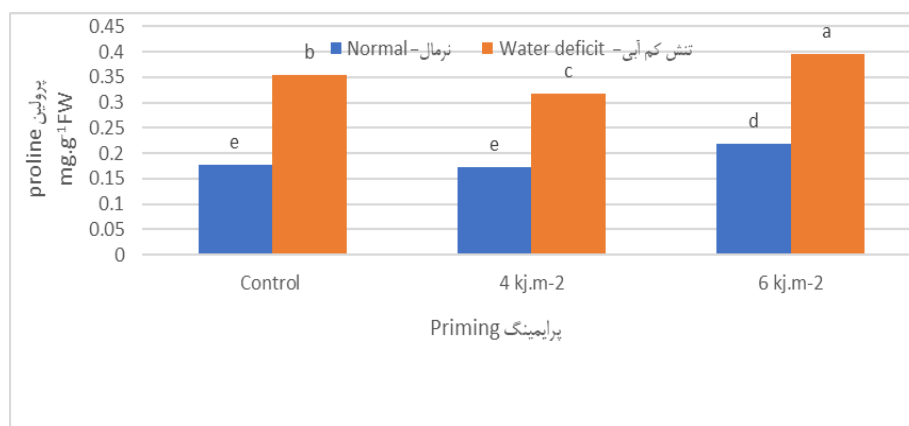
منابع تغییر SOV	درجه آزادی DF	میانگین مربعات								
		شاخص سطح برگ LAI	محتوی نسبی آب برگ Relative water content	محتوی پرولین Proline content	وزن خشک اندام هوایی Aerial dry weight	عملکرد ریشه Root yield	درصد قند ناخالص Sugar Content	عملکرد قند ناخالص Sugar yield	درصد قند خالص white sugar content	عملکرد قند خالص white sugar yield
سال (Y)Year	1	0.47*	12.00 ^{ns}	0.0222 ^{ns}	0.27 ^{ns}	67.68 ^{ns}	4.68 ^{ns}	5.51 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.47 ^{ns}
تکرار (سال) Replication (Y)	4	0.05	36.12	0.022	0.13	37.68	3.68	1.75	2.63	1.00
آبیاری Irrigation(I)	1	4.87 ^{ns}	182.68 ^{ns}	0.035 ^{ns}	21.76*	135.31 ^{ns}	77.66 ^{ns}	10.97 ^{ns}	11.97*	16.47 ^{ns}
سال × آبیاری I × Y	1	0.42*	1.71 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.04 ^{ns}	7.32 ^{ns}	0.54 ^{ns}	0.52 ^{ns}	0.05 ^{ns}	1.42 ^{ns}
خطای a Error a	4	0.05	14.39	0.0006	0.26	20.26	2.63	6.83	0.06	2.86
پرایمینگ Priming (P)	2	0.83 ^{ns}	188.43*	0.059**	3.61**	83.12*	5.41 ^{ns}	22.80*	11.95*	33.51*
سال × پرایمینگ P × Y	2	0.10 ^{ns}	7.51 ^{ns}	0.0005 ^{ns}	0.02 ^{ns}	1.77 ^{ns}	0.29 ^{ns}	0.89 ^{ns}	0.57 ^{ns}	1.58 ^{ns}
آبیاری × پرایمینگ P × I	2	0.22 ^{ns}	130.44*	0.031**	1.09*	136.07*	6.41*	13.59 ^{ns}	0.73 ^{ns}	12.97*
سال × آبیاری × پرایمینگ I × P × Y	2	0.19 ^{ns}	1.44 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	0.04 ^{ns}	1.56 ^{ns}	0.17 ^{ns}	0.91 ^{ns}	0.59 ^{ns}	0.23 ^{ns}
خطای b Error b	16	0.06	10.30	0.0004	0.22	10.31	1.19	3.80	1.09	2.11
ضریب تغییرات CV%	-	11.34	5.12	7.60	12.11	8.39	6.38	15.75	7.48	10.10

^{ns}، * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: non-significant, significant at 1% and 5% of probability levels

UV2 و در شرایط آبیاری معمول نشان داد که این میزان از پرتو مؤثر نمی‌باشد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پاسخ گیاه به پرتو UV به دوز مورد استفاده بستگی دارد.

کمترین محتوی پرولین در این مطالعه در تیمارهای شاهد و UV2 تحت شرایط آبیاری معمول حاصل شد (شکل ۳). به نظر می‌رسد در شرایط بدون تنش، گیاه سنتز پرولین کمتری به‌عنوان یک متابولیت دفاعی دارد. پایین بودن میزان پرولین در تیمار



شکل ۳ مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای اثر متقابل آبیاری با پرایمینگ UV-B از نظر محتوی پرولین در چغندر

Fig 3 Mean comparison effect of the interaction effects of irrigation and UV-B priming treatments on proline content in sugar beet

این یافته می‌تواند حاکی از آن باشد که دوز بالای UV (UV3) در ترکیب با تنش خشکی، به‌جای ایجاد مقاومت، یک «استرس مضاعف» بر گیاه تحمیل کرده و منجر به تخلیه بیشتر منابع انرژی و در نهایت کاهش شدید زیست‌توده شده است. این مشاهده با نتایج بخش پرولین که نشان داد UV3 بالاترین سطح استرس را ایجاد کرده، همخوانی کامل دارد.

نتایج حاکی است که استفاده از تیمار UV2 در شرایط آبیاری معمول و تنش کم‌آبی وزن خشک اندام هوایی را در مقایسه با تیمار شاهد مربوطه به‌صورت معنی‌داری به ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۸۶ تن در هکتار (به ترتیب معادل ۱۹/۵۲ و ۲۷/۷۴ درصد) افزایش داد (شکل ۴). این بهبود قابل توجه را می‌توان به نقش پرایمینگ بذر با UV نسبت داد. پرایمینگ با UV به‌عنوان یک محرک ملایم، احتمالاً مکانیسم‌های دفاعی و مسیرهای سیگنالینگ مرتبط با تحمل به استرس را در گیاهچه فعال کرده و آن را برای مواجهه با تنش بعدی (کم‌آبی) آماده می‌سازد. این آماده‌سازی منجر به تخصیص کارآمدتر منابع و حفظ رشد تحت شرایط نامساعد می‌گردد.

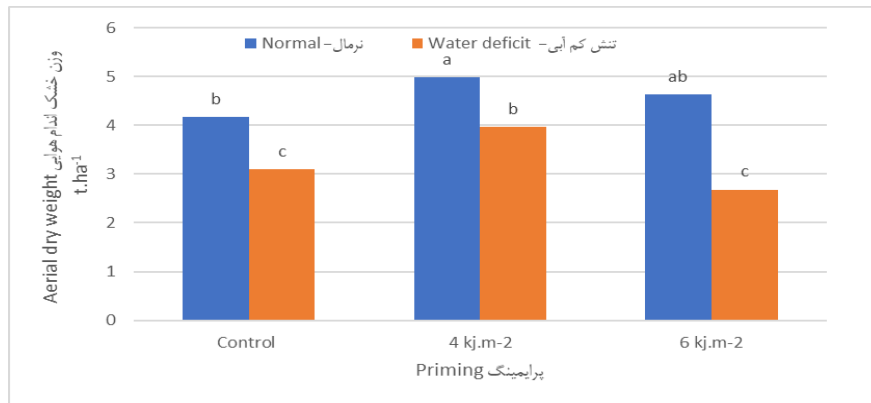
وزن خشک اندام هوایی

نتایج آنالیز مرکب داده‌ها نشان داد وزن خشک اندام هوایی به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر آبیاری ($P < 0.05$)، و پرایمینگ بذر با UV ($P < 0.01$) و برهم‌کنش دو تیمار ($P < 0.05$) قرار گرفت (جدول ۳). نتایج بررسی حاضر نشان داد کاربرد تیمار UV2 تحت شرایط آبیاری معمول با متوسط ۴/۹۸ تن در هکتار بالاترین عملکرد وزن خشک را به خود اختصاص داد. اختلاف بین تیمار مذکور با تیمار UV3 تحت شرایط آبیاری معمول معنی‌دار نبود. عدم اختلاف معنی‌دار UV2 با تیمار UV3 شرایط نرمال است که نشان می‌دهد افزایش دوز پرتو فرابنفش به سطح UV3 مزیت اضافی در شرایط بدون تنش ایجاد نکرده و حتی ممکن است به نقطه اشیاع یا آغاز اثرات بازدارنده نزدیک شده باشد. این موضوع بر مفهوم پاسخ وابسته به دوز (Dose-Response) پرتو فرابنفش تأکید دارد که در آن سطوح متوسط (مانند UV2) اغلب محرک بهینه بوده و سطوح بسیار بالا می‌توانند بی‌اثر یا حتی مضر باشند.

تیمار شاهد و UV3 تحت شرایط کمبود آب به ترتیب با متوسط ۲/۶۸ و ۳/۱۰ کمترین وزن خشک اندام هوایی را تولید کردند.

وزن خشک گردید. این همخوانی بین مطالعات مختلف، از پتانسیل عمومی پرایمینگ با UV به عنوان یک روش غیر مخرب و مؤثر برای ارتقای رشد در گونه‌های مختلف حمایت می‌کند.

همسو با یافته‌های حاضر، در مطالعه حمید و جواد (Hamid and Jawaaid 2011)، پیش تیمار بذر ماش (*Vigna radiata*) با سطوح پایین UV منجر به بهبود شاخص‌های رشد از جمله



شکل ۴ مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای اثر متقابل آبیاری با پرایمینگ UV-B از نظر وزن خشک اندام هوایی در چغندر قند
Fig 4 Mean comparison of the interaction effects of irrigation and UV-B priming treatments on aerial dry weight of sugar beet

عملکرد ریشه

اندام‌های هوایی می‌شود که در نهایت موجب کاهش عملکرد ریشه می‌شود (Khadem et al. 2011). همچنین، یکی از مکانیسم‌های گیاهان جهت مقاومت به خشکی کاهش پتانسیل اسمزی از طریق افزایش سنتز و تجمع کربوهیدرات‌هایی مانند ساکارز در شیره سلولی ریشه است که از این طریق، پتانسیل اسمزی کمتر از پتانسیل اسمزی خاک شده و آب به داخل ریشه جریان پیدا می‌کند. چنین فرایندی با صرف انرژی در گیاه همراه و موجب کاهش رشد و عملکرد ریشه می‌شود (Khadem et al. 2011). در مطالعات مختلفی کاهش عملکرد ریشه تحت شرایط تنش کمبود آب، گزارش شده است (Hamze et al. 2024; Mir Mahmoudi et al. 2023; Khalili and Hamze 2021).

در بررسی‌های مختلف، نتایج متفاوتی در مورد برهم کنش اشعه فرابنفش و تنش آبی گزارش شده است. این اثرات متفاوت احتمالاً می‌تواند در ارتباط با گونه، شرایط آزمایش و میزان تنش اعمال شده، باشد (Conner et al. 2002). اثر تنش خشکی و اشعه فرابنفش بسته به شدت تنش، مدت تنش و مرحله فنولوژی رشد گیاه، متفاوت است. به طوری که در مواردی تابش اشعه فرابنفش سبب افزایش مقاومت گیاه به تنش کم‌آبی و در برخی

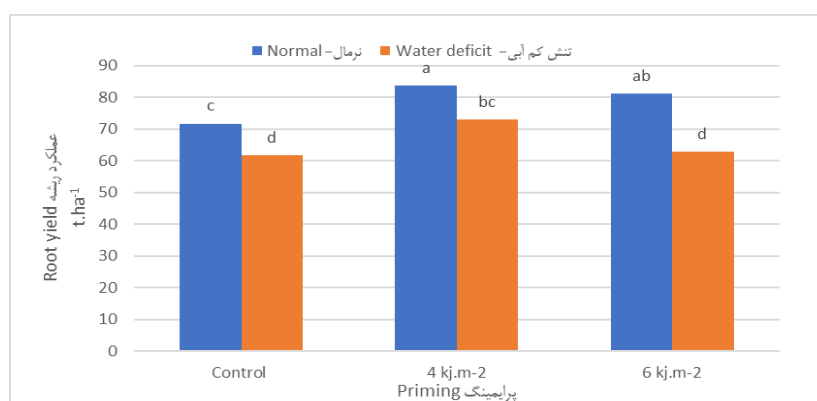
نتایج نشان داد پرایمینگ بذر با UV ($P < 0.05$) و اثر متقابل آبیاری با پرایمینگ بذر با UV ($P < 0.05$) به صورت معنی‌داری عملکرد ریشه را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۳). نتایج مطالعه حاضر نشان داد تنش کمبود آب در هر سه سطح تیمار UV عملکرد ریشه به صورت معنی‌داری کاهش یافت. البته بیشترین عملکرد ریشه به تیمار UV2 تحت شرایط آبیاری معمول نسبت به تیمارهای دیگر برتری معنی‌داری داشت، مربوط بود (شکل ۵). البته اختلاف عملکرد ریشه بین تیمار مذکور با سطح UV3 تحت شرایط آبیاری معمول، معنی‌دار نبود. نتایج این تحقیق نشان داد که واکنش عملکرد ریشه در گیاهان تیمار شده با UV در شرایط آبیاری تنش و بدون تنش آبی، با یکدیگر متفاوت بود. عملکرد ریشه تحت شرایط آبیاری معمول در تیمارهای UV2 و UV3 نسبت به تیمار شاهد به ترتیب ۱۶/۶۷ و ۱۳/۱۸ درصد افزایش یافت اما در شرایط تنش آبی تنها تیمار UV2 عملکرد ریشه در مقایسه با تیمار شاهد به میزان ۱۸/۴۳ درصد، افزایش داد (شکل ۵).

تنش آبی سبب کاهش سطح برگ و درصد پوشش سبز و افزایش تنفس و همچنین صرف انرژی برای رشد مجدد برگ‌ها و

چشم‌بیلی (*Vigna unguiculata* L. Walp)، از جمله افزایش زیست‌توده شد (Thomas and Puthur 2017). اسکالا و همکاران (Sacala et al. 2012) نشان دادند پیش‌تیمار بذر چغندر قند با اشعه لیزر میزان تجمع ماده خشک در ریشه افزایش داد. گزارش شده است که بذور ذرت واکنش مثبتی به پرایمینگ فیزیکی نشان داده‌اند به طوری که تیمارهای میدان مغناطیسی ۵ و ۱۰ دقیقه‌ای، گاما و لیزر ۵ دقیقه‌ای عملکرد دانه نسبت به شاهد افزایش دادند (Siyami et al. 2018).

دیگر نیز سبب حساسیت گیاه شده است. احتمالاً افزایش مقاومت در نتیجه‌ی افزایش سازوکارهای اجتناب و تحمل در گیاه است (Bandurska et al. 2013).

همان‌طوری که ذکر شد پرایمینگ در تیمار UV2 تحت شرایط آبیاری معمول و تنش آبی، عملکرد ریشه را در مقایسه با شاهد افزایش داد. گزارش شده است پرایمینگ بذر با دوزهای پایین اشعه فرابنفش UV (۳/۶ کیلوژول مترمربع) باعث ایجاد تغییرات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مختلف در گندم (*Triticum aestivum*)، برنج (*Oryza sativa*)، ذرت (*Zea mays*) و لوبیا



شکل ۵ مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای اثر متقابل آبیاری با پرایمینگ UV-B از نظر عملکرد ریشه در چغندر قند

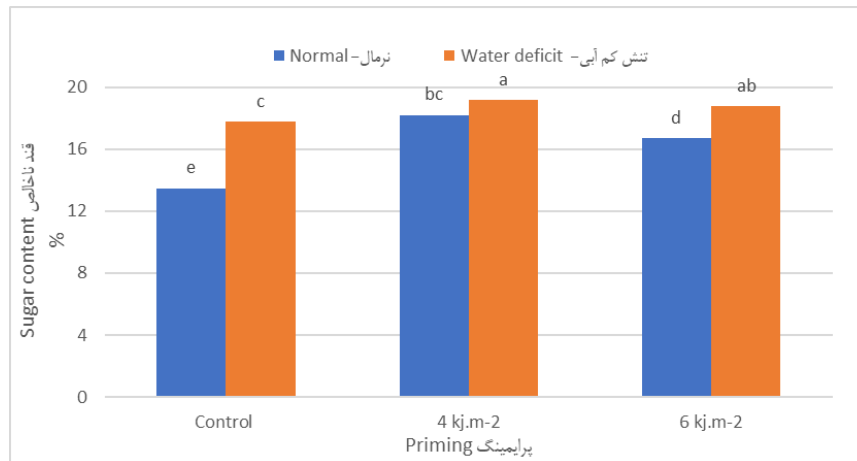
Fig 5 Mean comparison of the interaction effects of irrigation and UV-B priming treatments on root yield of sugar beet

این موضوع می‌تواند ناشی از افزایش غلظت کربوهیدرات‌های محلول از جمله واکنش‌هایی است که گیاهان در مواجهه با تنش‌های محیطی از خود بروز می‌دهند، به طوری که تجمع قندهای محلول درون سلول در تنظیم اسمزی نقش مهمی ایفا کرده و پتانسیل آب سلول کاهش یافته و آب بیشتری برای حفظ فشار تورژسانس در شرایط تنش کم‌آبی در داخل سلول باقی می‌ماند (Sato et al. 2004).

از طرفی سطح پایین تابش UV-B (4 kJm-2) اثرات منفی کم‌آبی را با افزایش کل قندهای محلول، اسیدهای آمینه، سنتز پروتئین و افزایش فرآیند مهار آنتی‌اکسیدان تعدیل می‌کند (Sen and Puthur 2021). در تحقیق رسائی و همکاران (Rasaei et al. 2020) گزارش شده که استفاده از UV-B در گوجه‌فرنگی محتوای قند محلول را افزایش می‌دهد.

درصد قند ناخالص

در این بررسی اثر متقابل آبیاری با پرایمینگ بذر با UV بر درصد قند ناخالص ریشه چغندر قند معنی‌دار بود ($P < 0.05$) (جدول ۳). بیشترین درصد قند ناخالص به تیمار بذور با UV2 و UV3 تحت شرایط تنش آبی به ترتیب با متوسط ۱۹/۱۷ و ۱۸/۷۵ درصد اختصاص داشت. کمترین درصد قند ناخالص به تیمار شاهد UV تحت شرایط آبیاری معمول با ۱۳/۴۸ درصد مربوط بود. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که پرایمینگ بذر با تیمارهای UV2 و UV3 در شرایط آبیاری معمول و تنش آبی در افزایش درصد قند ناخالص مؤثر بود (شکل ۶). در مطالعه غفاری و همکاران (Ghaffari et al. 2020; Hamze et al. 2024)، درصد قند ناخالص تحت شرایط کمبود آب به صورت چشم‌گیری افزایش یافت که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.



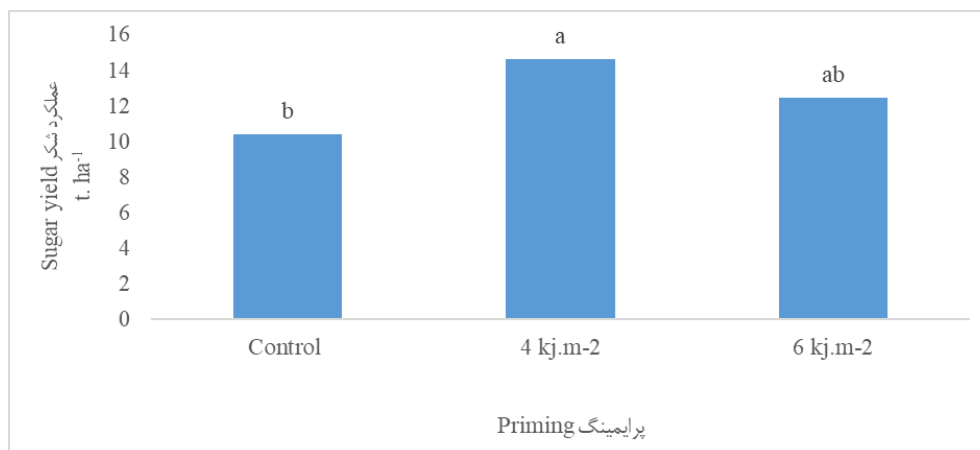
شکل ۶ مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای اثر متقابل آبیاری با پرایمینگ UV-B از نظر درصد قند ناخالص در چغندر قند

Fig 6 Mean comparison of the interaction effects of irrigation and UV-B priming treatments on sugar content in sugar beet

عملکرد قند ناخالص

این بهبود چشمگیر عملکرد قند ناخالص را می‌توان به مکانیسم‌های تحریک و آماده‌سازی بذر در طی فرآیند پرایمینگ نسبت داد. پرایمینگ بذر با UV به‌عنوان یک استرس ملایم و کنترل‌شده عمل می‌کند. این فرآیند باعث فعال‌سازی پیش از موقع آنزیم‌ها، تسریع در ترمیم DNA و فعال‌سازی مسیرهای سیگنالینگ دفاعی در بذر می‌شود (Lämke and Bäurle 2017).

نتایج نشان داد اختلاف میان تیمارهای پرایمینگ بذر با UV بر عملکرد قند ناخالص معنی‌دار بود (جدول ۳). در این آزمایش سطح UV2 و شاهد به ترتیب با متوسط با متوسط ناخالص ۱۴/۶۴ و ۱۰/۴۱ تن در هکتار حداکثر و حداقل عملکرد قند ناخالص را تولید کردند. بین تیمار شاهد و سطح UV3 از نظر عملکرد قند ناخالص اختلاف معنی‌دار نبود (شکل ۷).



شکل ۷ مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای پرایمینگ UV-B بر عملکرد شکر ناخالص در چغندر قند

Fig 7 Mean comparison of the effects of UV-B priming treatments on sugar yield of sugar beet

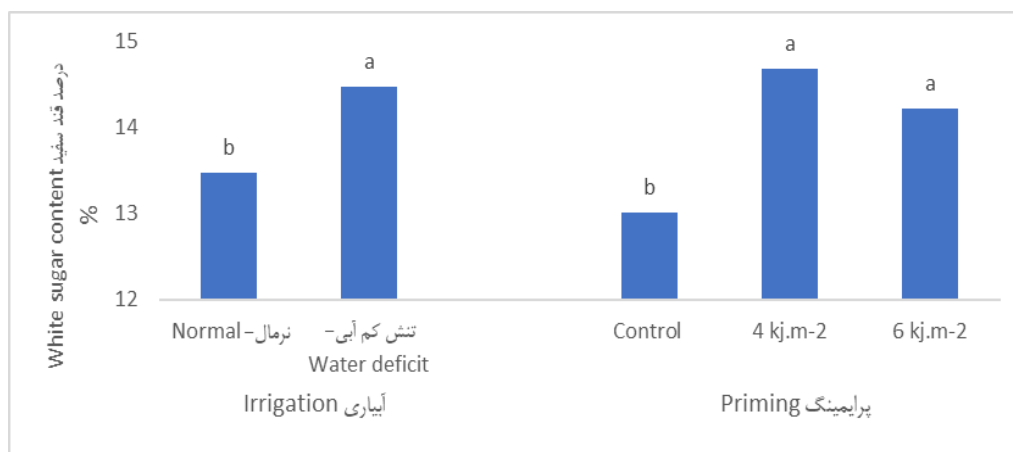
درصد قند خالص

۹/۴۲ درصد (معادل ۱/۲۷ واحد) نسبت به شرایط آبیاری معمول افزایش یافت. همچنین پیش تیمار بذر با سطوح UV2 و UV3 درصد قند خالص را در مقایسه با تیمار شاهد به ترتیب ۱۲/۸۳ و ۹/۳۰ درصد (معادل ۱/۶۷ و ۱/۲۱ واحد) افزایش دادند (شکل ۸).

بر اساس نتایج آنالیز مرکب داده‌ها سطوح آبیاری (P<۰/۰۵) و پرایمینگ بذر با UV (P<۰/۰۵)، اثر معنی‌داری بر درصد قند خالص داشتند (جدول ۳). درصد قند خالص تحت شرایط کم‌آبی

تغییراتی در متابولیت‌های ثانویه مانند ترکیبات فنولیک و فلاونوئیدها، ترکیبات قند (Katerova and Prinsen 2008) افزایش تجمع آنتوسیانین‌ها (Li et al. 2014) است.

تابش اشعه فرابنفش با دوزهای کم در برخی از گیاهان (مثل خردل (*Brassica juncea*) و گوجه‌فرنگی) باعث تحریک رشد شده و این امر در ارتباط با سازوکارهای محافظتی گیاه مثل



شکل ۸ مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای آبیاری (سمت چپ) و پرایمینگ UV-B (سمت راست) از نظر درصد قند سفید در چغندر قند
Fig 8 mean comparison of the effects of irrigation (left) and UV-B priming (right) treatments on white sugar content in sugar beet

عملکرد قند خالص

در این بررسی اثر پرایمینگ بذر با UV ($P < 0.05$) و اثر متقابل آبیاری با پرایمینگ بذر با UV ($P < 0.05$) بر عملکرد شکر سفید معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسات میانگین نشان داد پرایمینگ بذر چغندر قند با UV2 تحت شرایط معمول آبیاری با متوسط ۱۱/۹۷ تن در هکتار حداکثر عملکرد شکر عملکرد قند خالص را تولید کرد. اختلاف بین تیمار مذکور با تیمارهای UV3 تحت شرایط آبیاری معمول و UV2 تحت شرایط تنش کم‌آبی معنی‌دار نبود. کمترین عملکرد قند خالص نیز با متوسط ۸/۴۴ تن در هکتار برای تیمار شاهد تحت شرایط تنش آبی ثبت شد (شکل ۹).

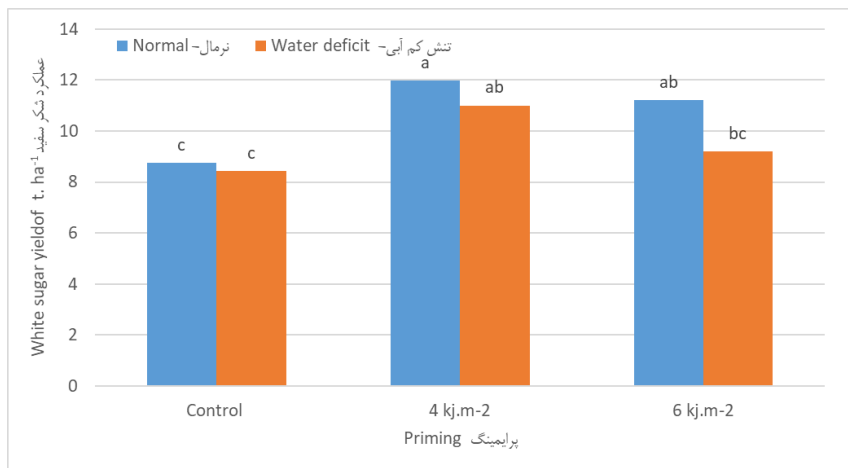
نتایج این مطالعه به‌وضوح نشان داد که پرایمینگ بذر چغندر قند با پرتو فرابنفش (UV) به‌ویژه در دوز بهینه (UV2) می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مؤثر برای بهبود عملکرد قند خالص هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش کم‌آبی عمل کند (Rupiasih and Vidyasagar 2016) افزایش معنی‌دار عملکرد شکر سفید تحت تیمارهای UV2 و UV3 در شرایط آبیاری معمول (به ترتیب ۳۶/۸۰ و ۲۸/۱۱ درصد) و تحت شرایط

تنش کم‌آبی نشان‌دهنده‌ی نقش تحریک‌کنندگی پرتو UV است که با مطالعات پیشین روی غلات همسو است (Abu-Elsaoud and Hassan 2016).

این افزایش عملکرد قند خالص احتمالاً از طریق فعال‌سازی مسیرهای سیگنالینگ و القای پاسخ‌های سازگاری در مرحله بذر حاصل شده که منجر به تولید گیاهچه‌هایی با سیستم ریشه‌ای توسعه‌یافته‌تر و عملکرد فتوسنتزی بالاتر شده است (Foroughbakhch et al. 2019). نکته برجسته این تحقیق، افزایش ۳۰/۳۳ درصدی عملکرد قند خالص با کاربرد تیمار UV2 در شرایط تنش کم‌آبی نسب به شاهد مربوطه بود که نشان‌دهنده‌ی نقش این تیمار به‌عنوان یک عامل القاکننده تحمل به تنش است (Ouhibi et al. 2014). مکانیسم این عمل احتمالاً از طریق القای سیستم‌های آنتی‌اکسیدانی، تغییر در سطوح هورمونی و حفظ یکپارچگی فتوسنتزی صورت می‌گیرد (Rai et al. 2021). همان‌طور که در مطالعات دیگر نیز گزارش شده، تابش UV می‌تواند فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش داده (Ouhibi et al. 2014) و غلظت هورمون‌های رشد مانند اکسین را تغییر دهد (Katerova and Prinsen 2008)

فرابنفش با دوز مناسب به عنوان یک روش غیر مخرب و کم هزینه برای افزایش عملکرد و تحمل به تنش در گوجه فرنگی است (Rasaei et al. 2019).

که این تغییرات به گیاه در مقابله با تنش های محیطی کمک می کند. یافته های این تحقیق همسو با نتایج مطالعه رئیسی و همکاران است آن ها اظهار داشتند از پرایمینگ بذر با پرتو



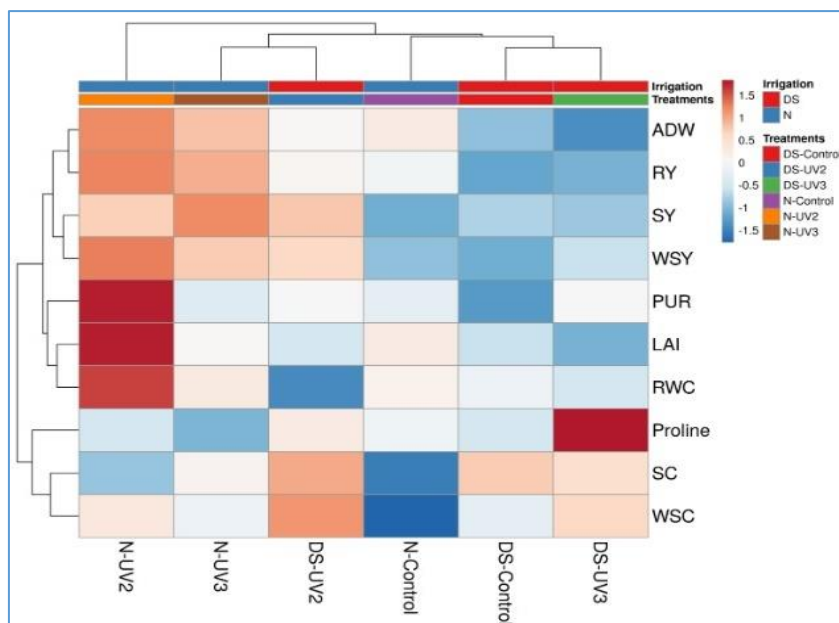
شکل ۹ مقایسه میانگین تأثیر تیمارهای اثر متقابل آبیاری با پرایمینگ UV-B از نظر عملکرد شکر سفید در چغندر قند

Fig 9 Mean comparison of the interaction effects of irrigation and UV-B priming treatments on white sugar yield of sugar beet

بر اساس نتایج بای پلات دو عامل اصلی اول ۸۲/۱ درصد از کل واریانس داده ها را تبیین کردند (شکل ۱۱)، عامل اول ۵۶/۲ و عامل دوم ۲۵/۹ درصد از واریانس داده ها را در برگرفتند. تیمارها پلات و صفات در سه ناحیه بای پلات پراکنده شدند. در ناحیه اول بای پلات (بالا سمت راست) دو تیمار DS-UV3 و DS-UV2 در مجاورت صفات پرولین، درصد قند ناخالص و درصد قند خالص قرار گرفتند، جهت بردار صفت پرولین همسو با صفت DS-UV3 و جهت بردارهای صفات درصد قند ناخالص و خالص همسو با تیمارهای DS-UV2 بود. در ناحیه دوم بای پلات صفات عملکرد ریشه، عملکرد قند ناخالص، عملکرد قند خالص و درصد استحصال قند در مجاورت بردارهای دو تیمار کاربرد UV2 و UV3 تحت شرایط آبیاری معمول واقع بودند. در ناحیه سوم بای پلات (پایین سمت چپ) صفات وزن خشک اندام هوایی، شاخص سطح برگ و محتوی نسبی آب برگ قرار داشت، اگر هیچ تیماری در ناحیه سوم بای پلات قرار نگرفت، در ناحیه چهار بای پلات (پایین سمت راست) دو تیمار شاهد تحت شرایط معمول و تنش کمبود آب (DS-control و control-N) واقع بودند، جهت بردار هیچ صفتی با تیمارهای مذکور همسو نبود.

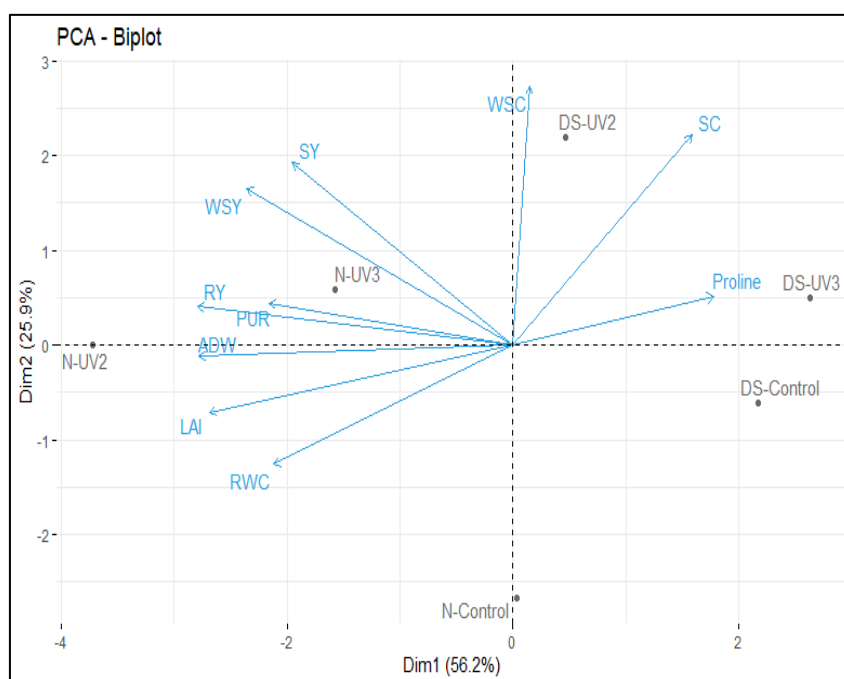
تجزیه خوشه ای حرارتی و بای پلات

دندروگرام حرارتی ترسیم شده تیمارها را به چهار گروه و صفات را به سه گروه دسته بندی کرد (شکل ۱۰)، بر این اساس تیمار با UV2 تحت شرایط آبیاری معمول (N-UV2) به تنهایی در یک خوشه قرار گرفت، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد ریشه، عملکرد قند خالص، درصد استحصال قند، شاخص سطح برگ و محتوی نسبی آب برگ در این تیمارها به صورت قابل توجهی بالاتر از تیمارهای دیگر بود. در طرف مقابل در تیمار UV3 تحت شرایط تنش کمبود آب (DS-UV3) کمترین مقادیر وزن خشک اندام هوایی، عملکرد ریشه، عملکرد قند خالص، درصد استحصال قند، شاخص سطح برگ و محتوی نسبی آب برگ و بالاترین محتوی پرولین را به خود اختصاص داد. بر اساس نمودار مذکور بالاترین درصد قند ناخالص و خالص به تیمار DS-UV2 اختصاص یافت. نکته قابل توجهی که باید به آن اشاره کرد قرار گرفتن دو تیمار DS-UV2 و N-UV2 در یک خوشه بود، این دو تیمار از نظر عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص از رنگ های تقریباً مشابهی برخوردار بودند.



شکل ۱۰ دندروگرام حرارتی گروه‌بندی تیمار و صفات مورد بررسی در چغندر قند

Figure 10 Heatmap dendrogram showing the clustering of treatments and evaluated traits in sugar beet



شکل ۱۱ بای‌پلات حاصل از گروه‌بندی تیمارها و صفات مورد بررسی در چغندر قند

Figure 11 Biplot illustrating the grouping of treatments and evaluated traits studied in sugar beet

پروترین-Proline، محتوی نسبی آب برگ-RWC، شاخص سطح برگ-LAI، وزن خشک اندام هوایی-ADW، عملکرد ریشه-RY، درصد قند ناخالص-SC، عملکرد قند ناخالص-SY، درصد قند خالص-WSC، درصد استحصال قند-PUR، عملکرد قند خالص-WSY.

نتیجه‌گیری

(UV2) به‌عنوان یک راهبرد مؤثر در بهبود عملکرد کمی و کیفی

این محصول تحت شرایط مختلف آبیاری شناخته می‌شود. این تیمار نه تنها باعث افزایش معنی‌دار عملکرد و درصد قند ناخالص

با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که تیمار بذر چغندر قند با پرتو فرابنفش (UV-B) به‌ویژه در سطح 4 kJm^{-2}

سیستم‌های زراعی چغندر قند برای بهبود عملکرد کمی و کیفی چغندر قند در شرایط تنش کم‌آبی، توصیه شود.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از تمامی حمایت‌ها و مساعدت‌های دانشگاه آزاد اسلامی مهاباد جهت فراهم نمودن امکانات مورد نیاز برای اجرای این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را داریم

تحت تنش کم‌آبی گردید بلکه بهبود قابل توجهی در شاخص‌های رشدی از جمله محتوای نسبی آب برگ، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد ریشه و درصد قند ناخالص در هر دو شرایط آبیاری ایجاد نمود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که پرایمینگ با UV-B به‌ویژه در سطح UV2، با فعال‌سازی مکانیسم‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی، نه تنها قادر به کاهش اثرات منفی تنش کم‌آبی است، بلکه می‌تواند منجر به بهبود قابل توجه پارامترهای کمی و کیفی محصول چغندر قند می‌شود بنابراین تیمار بذر چغندر قند با پرتو فرابنفش می‌تواند به‌عنوان یک روش کارآمد و مقرون‌به‌صرفه در

References

منابع مورد استفاده

- Abid M, Ali S, Qi LK, Zahoor R, Tian Z, Jiang D, Snider JL, Dai T. Physiological and biochemical changes during drought and recovery periods at tillering and jointing stages in wheat (*Triticum aestivum* L.). Scientific Reports. 2018; 8: 4615. Doi :<https://doi.org/10.1038/s41598-018-21441-7>
- Abu-Elsaoud AM, Hassan HM. Effect of UVA+B on germination consequences, oxidative stress and antioxidant defence mechanisms of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Ecology of Health and Environment. 2016; 4: 75–86. Doi:<https://doi.org/10.18576/jehe/040204>
- Anonymous 2021. Crops Production /Yield quantities of Sugar beet. Available. FAOSTAT. at: <http://www.fao.org/faostat/> (Accessed October 4th 2021).
- Bacelar E, Moutinho-Pereira J, Ferreira H, Correia C. Enhanced ultraviolet-B radiation affect growth, yield and physiological processes on triticale plants. Procedia Environmental Sciences. 2015; 29: 219-220. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.281>
- Badridze G, Kacharava N, Chkhubianishvili E, Rapava L, Kikvidze M, Chanishvili Sh, Shakarishvili, N, Mazanishvili L, Chigladze L. Effect of UV radiation and artificial acid rain on productivity of wheat. Russian Journal of Ecology . 2016; 47: 158–166. Doi:<https://doi.org/10.1134/S106741361602003X>
- Bandurska H, Niedziela J, Chadzinikolau T. Separate and combined responses to water deficit and UV-B radiation. Plant Science, 2013; 213: 98-105.
- Bates LS, Waldren RP, Teare IO. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil. 1973; 39: 205-207. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2013.09.003>
- Bernal M, Verdaguer D, Badosa J, Abadía A, Llusà J, Peñuelas J, Llorens L. Effects of enhanced UV radiation and water availability on performance, biomass production and photoprotective mechanisms of *Laurus nobilis* seedlings. Environmental and Experimental Botany. 2015; 109: 264–275. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.06.016>
- Bhardwaj J, Yadav SK. Comparative study on biochemical parameters and antioxidant enzymes in a drought tolerant and a sensitive variety of horsegram (*Macrotyloma uniflorum*) under drought stress. American Journal of Plant Physiology. 2012; 7: 17–29.
- Chołuj D, Wiśniewska A, Szafrański KM, Cebula J, Gozdowski D, Podlaski S. Assessment of the physiological responses to drought in different sugar beet genotypes in connection with their genetic distance. Plant Physiology. 2014; 171: 1221–1230. Epub 2014 May 22. PMID: 25014257. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.04.016>

- Conner JK, Neumeier R. The effects of ultraviolet-B radiation and intraspecific competition on growth, pollination success, and lifetime female fitness in *Phacelia campanularia* and *P. purshii* (Hydrophyllaceae). *American Journal of Botany*, 2002; 89(1): 103-110.
- Delibaltova V, Ivanova R. Impact of the pre-sowing irradiation of seeds by helium-neon laser on the dynamics of development of some cotton varieties. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2006; 7(4): 909-917.
- Dohm JC, Minoche AE, Holtgräwe D, Capella-Gutiérrez S, Zakrzewski F, Tafer H, Rupp O, Sörensen TR, Stracke R, Reinhardt R, Goesmann A, Kraft T, Schulz B, Stadler PF, Schmidt T, Gabaldón T, Lehrach H, Weisshaar B, Himmelbauer H. The genome of the recently domesticated crop plant sugar beet (*Beta vulgaris*). *Nature*. 2014; 505(7484): 546- 549. Doi:<https://doi.org/10.1038/nature12817>
- Foroughbakhch Pournavab R, Bacópulos Mejía E, Benavides Mendoza A, Salas Cruz, LR, Ngangyo Heya M. Ultraviolet radiation effect on seed germination and seedling growth of common species from northeastern Mexico. *Agronomy*. 2019; 9(6): 269. Doi:<https://doi.org/10.3390/agronomy9060269>.
- Ghaffari H, Tadayon M, Razmjoo J, Bahador M, Soureshjani HK, Yuan T. Impact of jasmonic acid on sugar yield and physiological traits of sugar beet in response to water deficit regimes: using stepwise regression approach. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2020; 67:482-493. Doi:<https://doi.org/10.1134/S1021443720030097>
- Ghaffari H, Tadayon MR, Nadeem M, Cheema M, Razmjoo J. Proline-mediated changes in antioxidant enzymatic activities and physiology of sugar beet under drought stress. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2019; 41: 23. Doi:<https://doi.org/10.1007/s11738-019-2815-z>
- Hagihosseini N, Hosseini Sarghein S, Jamei R. The study of interactive effects of UV-B radiation and drought stress on some physiological traits of two cultivar of gourd (*Cucurbita pepo* L.). *Iranian Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 2016; 1(2): 16-26. (In Persian).
- Hamid N, Jawaaid F. Influence of seed pre-treatment by UV-A and UV-C radiation on germination and growth of Mung beans. *Pakistan Journal of Chemistry*. 2011; 1(4):164-167. Doi:<https://doi.org/10.15228/2011.v01.i04.p04>
- Hamze H, Khalili M, Mir-Shafiee Z, Nasiri J. Integrated biomarker response version 2 (IBRv2)-assisted examination to scrutinize foliar application of jasmonic acid (JA) and zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) toward mitigating drought Stress in Sugar Beet. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2024; Doi:<https://doi.org/10.1007/s00344-024-11475-9>.
- hoffman CM. sucrose accumulation in sugar beet under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2010; 196: 243-252. Doi:<https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00415.x>
- Jisha K, Vijayakumari K, Puthur J. Seed priming for abiotic stress tolerance : an overview. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2013; 35: 1381-1396. Doi:<https://doi.org/10.1007/s11738-012-1186-5>
- Kakani VG, Reddy KR, Zhao D, Sailaja K. Field crop responses to ultraviolet-B radiation: A review. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2003; 120: 191-218. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.08.015>
- Katerova Z, Prinsen E. Alterations in indole acetic acid, abscisic acid and aminocyclopropane carboxylic acid in pea plants after prolonged influence of low levels ultraviolet-B and ultraviolet-C radiation. *Plant Physiology*. 2008; 34(3-4), 377-388.
- Kaya MD, Okçu G, Atak M, Çıkılı Y, Kolsarıcı Ö. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*. 2006; 24: 291-295. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.08.001>
- Khadem SA, Ghalavio M, Ramroodi SR, Mousavi M J, Rezvani-Moghadam P. Effect of animal manure and superabsorbent polymer on yield and yield components on corn (*Zea mays* L.). *Iran. Journal of Crop Science*. 2011; 1:115-123. (in Persian).
- Khalili M, Hamze H. Effect of different soil amendment treatments on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris*.L) under different irrigation regimes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*. 2021; 31 (1): 171-192. Doi:<https://doi.org/20.1001.1.24764310.1400.31.1.11.9>
- Khan MN, Zhang J, Luo T, Liu J. Seed priming with melatonin coping drought stress in rapeseed by regulating reactive oxygen species detoxification: antioxidant defense system, osmotic adjustment, stomatal traits and chloroplast

- ultrastructure perseveration. *Industrial Crops and Products*. 2019; 140: 111597. Doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111597.
- Lämke J, Bäurle I. Somatic stress memory in plants. *Current Opinion in Plant Biology*. 2017; 35:118–124. Doi:https://doi.org/10.1016/j.pbi.2016.11.006
- Levitt J. Responses of Plant to Environmental Stress: Water, Radiation, Salt and Other Stresses. Academic Press, New York. 1980; pp. 365.
- Li D, Luo Z, Mou W, Wang Y, Ying T, Mao L. ABA and UV-C effects on quality, antioxidant capacity and anthocyanin content of strawberry fruit (*Fragaria ananassa* Duch.). *Postharvest Biology and Technology*. 2014; (90): 56-62. Doi:https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.12.006
- Marthandan V, Geetha R, Kumutha K, Gandhimeyyam Renganathan V, Karthikeyan A, Ramalingam J. Seed priming: a feasible strategy to enhance drought tolerance in crop plants. *International Journal of Molecular Sciences*. 2020; 21: 8258. Doi:https://doi.org/10.3390/ijms21218258.
- Mir Mahmoudi T, Hamze H, Golabi Lak I. Impact of biofertiliser and zinc nanoparticles on enzymatic, biochemical, and agronomic properties of sugar beet under different irrigation regimes. *Zemdirbyste*. 2023; 109(4): 217–224. Doi:https://doi.org/10.13080/z-a.2023.110.025
- Nogues S, Allen DJ, Merison JIL, Baker NR. Ultraviolet-B radiation effects on water relations, leaf development, and photosynthesis in drought pea plants. *Plant Physiology*. 1998; 117: 175-181. Doi:https://doi.org/10.1104/pp.117.1.173
- Oguz MC, Aycan M, Oguz E, Poyraz I, Yildiz M. Drought stress tolerance in plants: interplay of molecular, biochemical and physiological responses in important development stages. *Physiologia*. 2022; 2: 180–197. Doi:https://doi.org/10.3390/physiologia2040015
- Ouhibi C, Attia H, Rebah F, Msilini N, Chebbi M, Aarrouf J, Urban L, Lachaal M. Salt stress mitigation by seed priming with UV-C in lettuce plants: growth, antioxidant activity and phenolic compounds. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2014; 83:126–133. Doi:https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2014.07.019
- Rai N, Morales LO, Aphalo PJ. Perception of solar UV radiation by plants: photoreceptors and mechanisms. *Plant Physiology*. 2021; Doi:https://doi.org/10.1093/plphys/kiab162
- Rasaei B, Jalali-Honarmand S, Abdoli M. The use of ultraviolet radiation as a way to improve the efficiency of physiological and biochemical processes to produce optimal yield in drought stress conditions. *Crop Science Research in Arid Regions*, 2021; 3(1): 127-149. Doi:https://doi.org/10.22034/csrar.2021.226242.1065
- Rasaei B, Jalali-Honarmand S, Ghobadi M, Zhou G. Changes of yield and yield components of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under the effects of ultraviolet radiation and abscisic acid application in water deficit stress conditions. *Journal of Plant Production Research*, 2019; 25(4): 101-117. (In Persian). Doi:https://doi.org/10.22069/JOPP.2018.14237.2275
- Rasaei B, Jalali-Honarmand S, Ghobadi M, Zhou G. Effect of ultraviolet radiation and abscisic acid on activity of antioxidant enzymes and physiological and morphological traits of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under different irrigation intervals. *Journal of Plant Ecophysiology*. 2020; 12 (40): 71-53. (in Persian). Doi:https://doi.org/10.22034/csrar.2021.226242.1065
- Ribeiro IC, Pinheiro C, Ribeiro CM, Veloso MM, Simoes-Costa MC, Evaristo I, Paulo OS, Ricardo CP. Genetic diversity and physiological performance of Portuguese wild beet (*Beta vulgaris* spp. *maritima*) from three contrasting habitats. *Frontiers in Plant Science*. 2016; 7(1): 1293. Doi: https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01293
- Rupiasih NN, Vidyasagar PB. Effect of UV-C radiation and hypergravity on germination, growth and content of chlorophyll of wheat seedlings. In 'The 4th International Conference on Theoretical and Applied Physics'. 2016; (AIP Publishing: Melville, New York) Doi:https://doi.org/10.1063/1.4943730doi:10.1063/1.4943730
- Sacala E, Demczuk A, Grzyoe E, ProsbaBialczyk U, Szajnsner H. Impact of pre-sowing laser irradiation of seeds on sugar beet properties. *International Agrophysics*. 2012; 26: 295-300. Doi:https://doi.org/10.2478/v10247-012-0042-6

- Sato F, Yoshioka H, Fujiwara T, Higashio H, Uragami A, Tokuda S. Physiological responses of cabbage plug seedlings to water stress during low-temperature storage in darkness. *Horticultural Science*. 2004; 101: 349-357.
- Sen A, Puthur JT. Halo-and UV-B priming-mediated drought tolerance and recovery in rice seedlings. *Plant Stress*. 2021; 2:100011. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100011>.
- Shams Borhan T, Mir Mahmoodi T, Hamze H. Effect of priming and planting date on some morphological characteristics, white sugar yield and its components of sugar beet (*Beta vulgaris*). *Iranian Journal of Seed Science and Research*. 2023; 9 (4): 1-14. Doi:<https://doi.org/10.22124/jms.2023.6167>
- Shirani Rad AH, Malmir M, Eyni-Nargeseh A. Appropriate irrigation regime and sowing date boost camelina seed yield and oil content by improving physiologic and agronomic trait. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2023; 70: 108. Doi:<https://doi.org/10.1134/S1021443723600095>.
- Shiranirad, S, Eyni-Nargeseh H, Shirani Rad AH, Malmir M. Managing irrigation and sowing date can improve oil content and fatty acid composition of *Camelina sativa* L. *The Archives of Agronomy and Soil Scienc*. 2023; 69 (14): 2847–2861. Doi:<https://doi.org/10.1080/03650340.2023.2177989>.
- Siyami R, Mirshekari B, Farahvash F, Rashidi V, Tarinejad A. The effect of physical seed priming and water deficit stress on enzyme activity and seed yield of corn. 2018; 11 (1): 27-136. Doi: <https://doi.org/10.22077/escs.2018.372.1072>
- Thomas TT, Puthur JT. UV radiation priming: A means of amplifying the inherent potential for abiotic stress tolerance in crop plants. *Environmental and Experimental Botany*. 2017; 138, 57–66. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.03.003>.