

Assessment Effect of LED Light on Water Productivity, Photosynthetic Pigments and Morphologic Characteristics of Wheat in Early Stages of Growth under Drought Stress

Vahid Shamsabadi^{1*} | Sayyed MohammadJavad Mirzaei² | MohammadNaser Modoodi³ | Hossein Nastari Nasrabadi⁴ | Mahdi Moradi⁵

¹ Corresponding Author, Department of Water Sciences and Engineering, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran.

² Department of Water Sciences and Engineering, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran.

³ Department of Horticulture Plants, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran.

⁴ Department of Horticulture Plants, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran.

⁵ Department of Horticulture Plants, University of Torbat-e Jam, Torbat-e Jam, Iran.

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	To investigate the effects of drought stress and different LED lights on yield, water productivity and some morphologic characteristics of wheat plant in early stages of growth, a factorial experiment was performed in the form of a completely randomized design in 2022 in the research greenhouse Torbat-e Jam University. The effects of drought stress included three levels (100, 75 and 50 percent of water requirements) and the effect of different LED lights including six levels (white, 70% red + 30% blue, 100% red, 70% blue + 30% red, 100% blue and 50% red + 50% blue) on wheat plant in the early stages of growth were investigated. The results of this research showed that by applying drought stress to the amount of 75 and 50% of the water requirement of the plant, fresh weight of aerial parts, dry weight of aerial parts, root fresh weight, root dry weight, plant length, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, potassium concentration, Phosphorus concentration and magnesium concentration decreased and water productivity increased by 18/52% and 27/94% respectively. Also, the results showed that among the different types of LED light application, the highest amount in fresh and dry weight of aerial parts, fresh and dry weight of roots, plant length and water productivity in 70% red + 30% blue light and the highest amount of pigments photosynthetic parameters were obtained in wheat plant in 50% red + 50% blue light. the results showed that the highest concentration of potassium occurred in 100% red light, phosphorus concentration in white light and magnesium concentration in 50% red + 50% blue light. Results demonstrated that the combination of 70% red light with 30% blue light increased water productivity and morphologic characteristics of wheat plant.
Article history: Received 23 March 2024 Received in revised form 21 June 2024 Accepted 5 July 2024 Published online 15 August 2024	
Keyword ds: Chlorophyll, Deficit Irrigation, Element, Light Spectrum, Yield	

* Corresponding author, mail: v_shamsabadi@tjamcaas.ac.ir

Cite this article: Vahid Shamsabadi, Sayyed MohammadJavad Mirzaei, MohammadNaser Modoodi, Hossein Nastari Nasrabadi, Mahdi Moradi. (2024). Assessment Effect of LED Light on Water Productivity, Photosynthetic Pigments and Morphologic Characteristics of Wheat in Early Stages of Growth under Drought Stress *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, 3(1), 65-78. <http://doi.org/>



© The Author(s).

Publisher: Gonbad Kavous University.

DOI: <http://doi.org/10.22034/nawee.2024.459360.1082>



ارزیابی طیف‌های مختلف نور بر بهره‌وری آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی خصوصیات مورفولوژیک گندم در مراحل اولیه رشد در شرایط تنش خشکی

وحید شمس آبادی^{۱*} | سید محمد جواد میرزایی^۲ | محمد ناصر مودودی^۳ | حسین نستری نصرآبادی^۴ | مهدی مرادی^۵

^۱ نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران.

^۲ گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران.

^۳ گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران

^۴ گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران.

^۵ گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی تربت جام، تربت جام، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله:	به منظور بررسی اثرات تنش خشکی و طیف‌های مختلف نور بر عملکرد، بهره‌وری آب و برخی خصوصیات مورفولوژیک گیاه گندم در مراحل اولیه رشد، این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی تربت جام انجام شد.
مقاله پژوهشی	مواد و روش‌ها: اثرات تنش خشکی شامل سه سطح (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) و تأثیر طیف‌های مختلف نور شامل شش سطح (سفید، ۷۰ درصد قرمز + ۳۰ درصد آبی، ۱۰۰ درصد قرمز، ۷۰ درصد آبی + ۳۰ درصد قرمز، ۱۰۰ درصد آبی و ۵۰ درصد قرمز + ۵۰ درصد آبی) بر گیاه گندم در مراحل اولیه رشد بررسی شد.
تاریخ دریافت:	نتایج این پژوهش نشان داد که با اعمال تنش خشکی به میزان ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن خشک ریشه، طول گیاه، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها، غلظت پتاسیم، غلظت فسفر و غلظت منیزیم کاهش و بهره‌وری آب به ترتیب ۱۸/۵۲ و ۲۷/۹۴ درصد افزایش یافت. هم‌چنین نتایج نشان داد که در بین طیف‌های مختلف نور، بالاترین مقادیر وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، طول گیاه و بهره‌وری آب در نور ۷۰ درصد قرمز + ۳۰ درصد آبی و بالاترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه گندم در نور ۵۰ درصد قرمز + ۵۰ درصد آبی به دست آمد. در خصوص غلظت عناصر نیز نتایج نشان داد که بالاترین میزان پتاسیم در نور ۱۰۰ درصد قرمز، فسفر در نور سفید و منیزیم در نور ۵۰ درصد قرمز + ۵۰ درصد آبی رخ داد. بررسی نتایج نشان داد که ترکیب نور ۷۰ درصد قرمز + ۳۰ درصد آبی موجب افزایش بیشتر بهره‌وری آب و خصوصیات مورفولوژیک گیاه گندم گردید.
تاریخ بازنگری:	
تاریخ پذیرش:	
تاریخ انتشار:	
کلیدواژه‌ها:	
عملکرد، طیف نوری، کلروفیل، کم‌آبایی، عناصر	

* نویسنده مسئول: v_shamsabadi@tjamcaas.ac.ir

استناد: شمس آبادی، وحید؛ میرزایی، سید محمد جواد؛ مودودی، محمد ناصر؛ نستری نصرآبادی، حسین؛ مرادی، مهدی. (۱۴۰۳). ارزیابی طیف‌های

مختلف نور بر بهره‌وری آب، رنگیزه‌های فتوسنتزی و برخی خصوصیات مورفولوژیک گندم در مراحل اولیه رشد در شرایط تنش خشکی،

رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست، ۴ (۱)، <http://doi.org/10.22034/nawee.2024.459360.1082>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه گنبد کاووس.

مقدمه

تنش خشکی از جمله مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی محدودکننده تولید محصولات زراعی عمده جهان، یعنی گندم و برنج است، تنش خشکی پایداری عملکرد گیاهان زراعی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (حسینعلی‌پور، ۱۳۹۹). در بین گیاهان زراعی، گندم به عنوان منبع مهمی از کالری و پروتئین، یک محصول کلیدی است که امنیت غذایی و اقتصاد جهانی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (ماندال و همکاران، ۲۰۱۶). امروزه محققان با توجه به افزایش جمعیت در آینده و نیاز به تامین غذا به دنبال روش‌ها و تکنیک‌هایی هستند تا بتوانند عملکرد گندم را به بالاترین مقدار خود برسانند. یکی از مهم‌ترین فاکتورها در افزایش عملکرد محصولات کشاورزی، تأثیر عوامل محیطی و از جمله نور است. نور از عوامل محیطی تأثیرگذار بر رشد و نمو گیاهان است و یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی برای رشد و بقای گیاهان به‌شمار می‌رود که فرآیندهایی همچون جوانه زنی بذر، توسعه کلروپلاست و گلدهی را تنظیم می‌کند (ملاس و همکاران، ۲۰۰۶). در سال‌های اخیر، محققان به نقش ویژه نور به عنوان فاکتوری کلیدی نه تنها در پدیده فتوسنتز و افزایش عملکرد گیاهان، بلکه در بیوسنتز ترکیبات مهم و مختلف دیگر گیاه تأکید کرده‌اند (فن و همکاران، ۲۰۱۳) در سال‌های اخیر منابع سنتی نور با دیودهای پخش کننده نور جایگزین شده‌اند. طیف‌های مختلف نور دارای مزیت‌هایی از قبیل راندمان بالای تبدیل انرژی، حجم کم، طول عمر بیشتر، طول موج ویژه، شدت و کیفیت قابل تنظیم نور و خروجی گرمایی کمتر هستند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). آزمایش‌های انجام‌شده درباره نور LED در کشت گیاه در اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی آغاز شد و تاکنون نیز ادامه دارد. تغییرات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در گیاهان مختلفی از جمله فلفل، کاهو، نعناع فلفلی که تحت تأثیر رنگ‌های مختلف LED بودند مطالعه و بررسی شدند (دارکو و همکاران، ۲۰۱۴). به دلیل اثر نامطلوب محیطی و محدودیت منابع آب و خاک، توسعه کشت‌های گلخانه‌ای امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. برای توسعه کشت‌های گلخانه‌ای نیز نورهای مصنوعی به‌ویژه لامپ‌های LED بسیار مهمند. یافته‌ها نشان داده‌اند که نور LED می‌تواند با تحریک متابولیسم گیاه، تولید ترکیبات موثر دارویی را در آن‌ها بهبود بخشد (دارکو و همکاران، ۲۰۱۴). در واکنش فتوسنتز گیاهان، نورهای با طول موج قرمز (۶۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر) و آبی (۳۸۰ تا ۴۸۰ نانومتر) بیش‌ترین تأثیر و بالاترین کارایی را در رشد گیاهان دارند (دارکو و همکاران، ۲۰۱۴). طیف نور آبی ضخامت اپیدرم و سلول‌های مزوفیل را افزایش می‌دهد، درحالی‌که طیف نور قرمز ضخامت برگ و بافت اسفنجی را کاهش می‌دهد (ماسدو و همکاران، ۲۰۱۱). نتایج تحقیقات نشان داده است که در محیط‌های کنترل‌شده حضور همزمان نور قرمز و آبی برای افزایش رشد، میزان رنگدانه‌ها و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در گیاهان ضروری است. علاوه بر این درصد نورهای قرمز و آبی مورد نیاز بسته به گیاهان مختلف متفاوت است (نازنین و همکاران، ۲۰۱۹). نتایج تحقیقات نشان داد که در مقایسه با نور سفید، ترکیب نور آبی و قرمز موجب افزایش خصوصیات مورفولوژیکی گیاه گندم گردید (دانگ و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج تحقیقات نشان داد که طیف نوری نقش مهمی در تنظیم متابولیسم و خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه گندم دارد (گیوگوس و همکاران، ۲۰۲۱). به نظر می‌رسد ترکیب نورهای قرمز و آبی برای روش‌های جدید کشت گیاهان به‌ویژه کشت طبقاتی و کشاورزی شهری مورد نیاز است (خزائی و همکاران، ۱۴۰۰). با توجه به نقش ویژه نور در رشد و عملکرد گیاه و نیز اهمیت غیرقابل‌انکار گندم، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر نورهای مختلف LED شامل نور سفید، نور قرمز، نور آبی و ترکیب آنها بر عملکرد، بهره‌وری آب و بعضی خصوصیات گیاه گندم تا مرحله توسعه‌ای رشد آن در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش روی گیاه گندم و به‌صورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل تنش خشکی در سه سطح (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی) و شش تیمار کیفیت متفاوت نور LED (Light Emitting Diode) شامل ۱۰۰ درصد سفید (W)، ۱۰۰ درصد آبی (B100%)، ۱۰۰ درصد قرمز (R100%)، ۷۰ درصد آبی و ۳۰ درصد قرمز (B70%*R30%)، ۷۰ درصد قرمز و ۳۰ درصد آبی (R70%*B30%) و ۵۰ درصد آبی و ۵۰ درصد قرمز (R50%*B50%) بودند. این پژوهش در پاییز ۱۴۰۱ (از ۲۰ مهر لغایت ۲۰ آذر) در گلخانه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی تربت جام (استان خراسان رضوی) انجام شد. بذرهای گندم از رقم پیشگام در گلدان‌هایی به ابعاد ۴۰ در ۳۰ سانتی‌متر و حاوی کوکوپیت و پرلیت (نسبت

۱:۲) کشت شد. دمای روز گلخانه ۲۲ درجه و دمای شب آن ۱۸ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی آن ۵۵ درصد بود. بذره‌های گندم به صورت یکسان و برابر در تمام گلدان‌ها کشت گردید و سپس گلدان‌ها به اتاقک‌های مربوطه انتقال داده شدند. در اتاقک‌های رشد از لامپ‌های LED قرمز (۶۶۰ نانومتر)، آبی (۴۵۵ نانومتر) و سفید (۳۸۰ تا ۷۵۰ نانومتر) استفاده شد. ابعاد هر اتاقک ۱۰۰ در ۱۱۰ در ۱۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تمام تیمارها تحت نیاز تغذیه‌ای یکسان قرار گرفتند. در شکل (۱) نمونه‌هایی از گیاه گندم تحت تیمارهای مختلف نوری در گلخانه تحقیقاتی ارائه شده است. در این پژوهش از آب مقطر با pH ۶/۰۵ و EC ۰/۰۵۵ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر استفاده گردید. نیاز آبی بر اساس مقدار جمع‌آوری آب تبخیر شده از تشت تبخیر، پس از اعمال ضریب تشت محاسبه شده از روش پیشنهاد شده در نشریه فائو 56 (۱۹۹۸) با توجه به موقعیت استقرار آن در محل (به طور میانگین ۰/۷) تعیین شد (یوان و همکاران، ۲۰۰۱). مقدار نیاز آبی از رابطه (۱) به دست آمد:

$$ET_a = K_c \times K_p \times E_{pan} \quad (1)$$

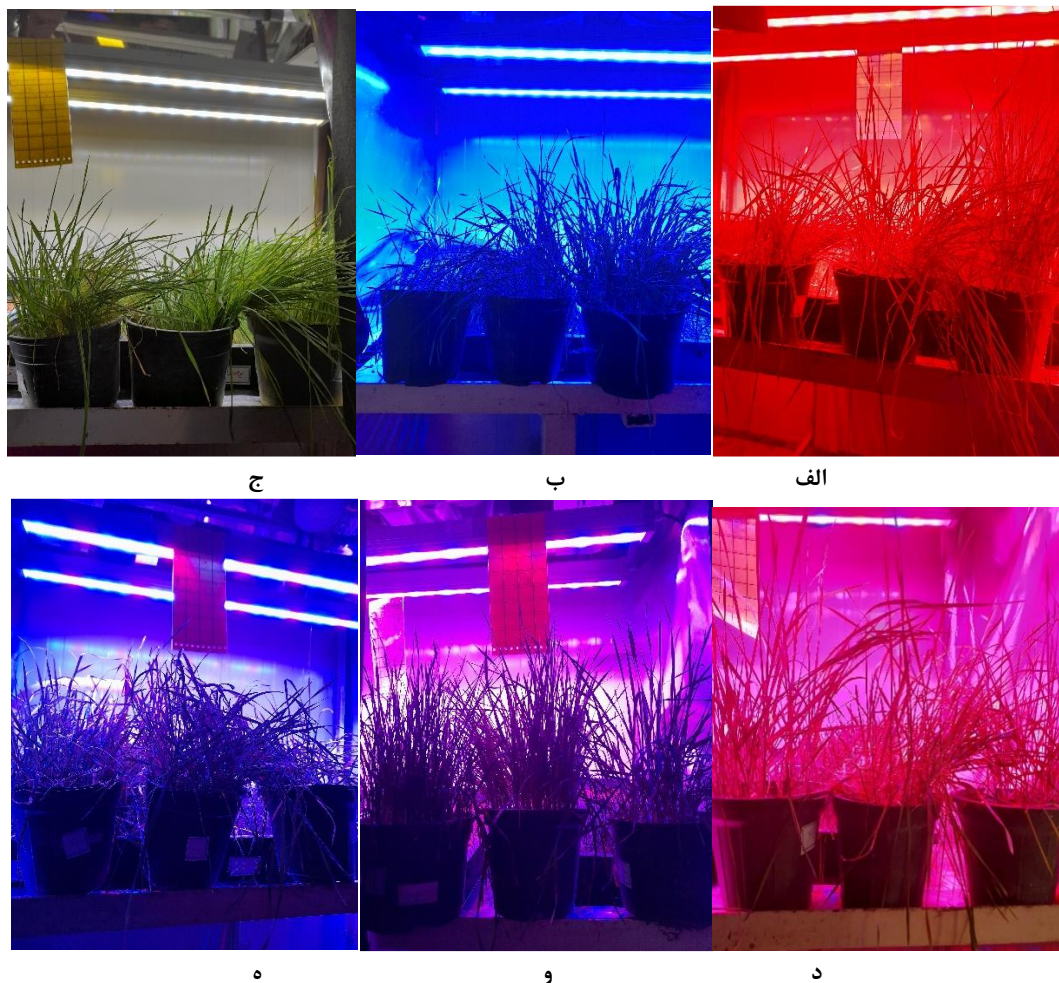
که در آن ET_a : میلی‌متر بر روز (تبخیر تعرق روزانه)، K_p : ضریب تشت، E_{pan} : تبخیر از سطح تشت (میلی‌متر در روز) و K_c : ضریب گیاهی هستند. به منظور محاسبه نیاز آبی، ضرایب گیاهی گندم از نتایج کیانی (۱۳۹۷) استفاده شد. ضرایب گیاهی گندم برای مراحل اولیه و توسعه رشد به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۷۵ تعیین گردید. پس از پایان مرحله دوم رشد (مرحله توسعه) گندم برداشت گردید (دو ماه پس از کاشت و اعمال تیمارها) و وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، ارتفاع، بهره‌وری آب، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کارتنوئیدها، غلظت پتاسیم، غلظت فسفر و غلظت منیزیم اندازه‌گیری شد. برای محاسبه بهره‌وری آب از معادله پیشنهادی فائو (۲) استفاده شد:

$$WP = \frac{Y}{ET} \times 100 \quad (2)$$

که WP بهره‌وری آب بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب آب، Y عملکرد بر حسب تن بر هکتار و ET تبخیر و تعرق گیاه بر حسب میلی‌متر است.

برای اندازه‌گیری وزن تر و خشک اندام هوایی و ریشه، ابتدا بوته‌ها و ریشه‌ها جدا شده و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری گردید، سپس برای تعیین وزن خشک، بوته‌ها و ریشه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه خشک شده و سپس توزین گردیدند. برای اندازه‌گیری ارتفاع گیاه، با استفاده از خط‌کش طول گیاه اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری غلظت پتاسیم، فسفر و منیزیم ابتدا ۰/۵ گرم از برگ خشک و آسیاب شده، سپس در کوره در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به مدت سه ساعت قرار داده شد تا نمونه‌ها تبدیل به خاکستر شوند. سپس در ادامه پنج میلی‌لیتر اسید کلریدریک دو نرمال به هر نمونه خاکستر افزوده شد و در پایان توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس برای اندازه‌گیری غلظت پتاسیم، فسفر و منیزیم از دستگاه طیف سنج اتمی مدل Savantaa GBC ساخت استرالیا استفاده گردید. برای سنجش محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی، مقدار ۰/۵ گرم از بافت برگ تازه در هاون چینی ریخته و با استفاده از نیتروژن مایع خرد شد. ۲۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد به نمونه اضافه، سپس در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه قرار گرفت. عصاره جدا شده رویی به فالکون منتقل و مقداری از نمونه در کووت دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-Vis array Spectrophotometer, Photonix-Ar2017, Iran) ریخته شد و سپس به طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کارتنوئیدها توسط اسپکتروفتومتر مقدار جذب قرائت گردید (Arnon, 1967).

آنالیز داده‌های آماری: برای تجزیه داده‌ها از برنامه آماری SAS مدل ۹/۴ استفاده شد. برای رسم نمودارها و شکل‌ها از برنامه اکسل استفاده گردید. میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد.



شکل ۱- نمونه‌ای از گیاه گندم در سطوح مختلف نور LED در گلخانه تحقیقاتی

(الف): ۱۰۰ درصد نور سفید، ب: ۱۰۰ درصد آبی، ج: ۱۰۰ درصد قرمز، د: ۷۰ درصد آبی و ۳۰ درصد قرمز، و: ۷۰ درصد قرمز و ۳۰ درصد آبی، ه: ۵۰ درصد آبی و ۵۰ درصد قرمز)

نتایج و بحث

وزن تر و خشک اندام هوایی

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس جدول (۱)، علاوه بر اثرات ساده نور LED و تنش خشکی، اثر بر هم کنش دوگانه آن‌ها نیز بر وزن تر و خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید.

نتایج اثر متقابل نور LED و تنش خشکی بر وزن تر و خشک اندام هوایی شکل (۲) نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی وزن تر اندام هوایی در نور LED سفید به ترتیب ۲۷/۲۳ و ۴۰/۶۰ درصد، در نور ۷۰ درصد قرمز+۳۰ درصد آبی به ترتیب ۱۹/۸۴ و ۳۹/۰۹ درصد، در نور ۱۰۰ درصد قرمز به ترتیب ۱۳/۲۱ و ۱۶/۹۵ درصد، در نور ۷۰ درصد آبی+۳۰ درصد قرمز به ترتیب ۱۱/۵۵ و ۲۴/۳۰ درصد، در نور ۱۰۰ درصد آبی به ترتیب ۴۵/۴۷ و ۷۲/۴۹ درصد و در نور ۵۰ درصد قرمز+۵۰ درصد آبی به ترتیب ۲۷/۵۱ و ۴۴/۳۸ درصد کاهش یافت. هم‌چنین با افزایش سطح تنش خشکی از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، وزن خشک اندام هوایی در نور LED سفید به ترتیب ۱۸/۴۹ و ۳۲/۲۸ درصد، در نور ۷۰ درصد قرمز+۳۰ درصد آبی به ترتیب ۱۹/۲۹ و ۳۳/۹۶ درصد، در نور ۱۰۰ درصد قرمز به ترتیب ۲/۶۷ و ۱۱/۰۳ درصد، در نور ۷۰ درصد آبی+۳۰ درصد قرمز به ترتیب ۱۳/۳۰ و ۲۶/۶۱ درصد، در نور ۱۰۰ درصد آبی به ترتیب ۴۳/۹۷ و ۷۱/۷۷ درصد و در نور ۵۰

درصد قرمز+۵۰ درصد آبی به ترتیب ۲۵/۶۴ و ۳۶/۲۶ درصد کاهش یافت. نتایج نشان داد که تنش خشکی کمترین اثر (میزان کاهش) را در سطح تنش ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی بر وزن تر اندام هوایی گیاه گندم را به ترتیب در نور ۷۰ درصد آبی+۳۰ درصد قرمز و ۱۰۰ درصد قرمز و بر وزن خشک اندام هوایی این گیاه در نور ۱۰۰ درصد قرمز داشت و بیشترین اثر (میزان کاهش) را بر وزن تر و خشک اندام هوایی گندم، در نور ۱۰۰ درصد آبی داشته است. در پژوهش خزائی و همکاران (۱۴۰۰)، بیشترین عملکرد وزن تر و خشک سه گونه گیاه نعنای در محیط‌های نوری قرمز و نیز قرمز-آبی گزارش شد. پژوهش احمدی و همکاران (۱۳۹۶)، نشان داد که بیشترین میزان وزن تر و خشک اندام هوایی گیاه بادرنجبویه در نور قرمز و نور قرمز+آبی و کمترین میزان آنها در نور آبی رخ داد. در پژوهش حیدری‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) بالاترین وزن تر گیاه نعنای فلفلی در ترکیب نور قرمز و آبی به دست آمد. همانند پژوهش‌های فوق بیشترین عملکرد وزن تر و خشک در نور قرمز-آبی حاصل شد.

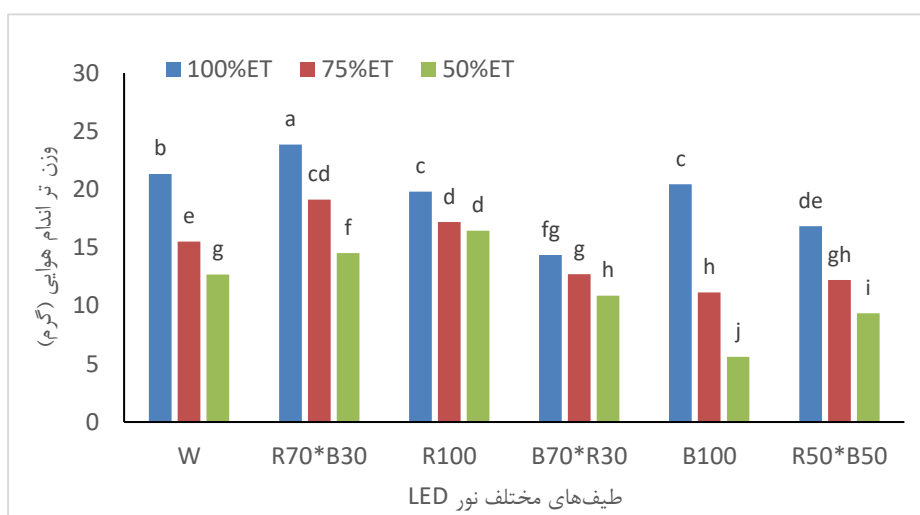
وزن تر و خشک ریشه: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس جدول (۱)، علاوه بر اثرات ساده نور LED و تنش خشکی، اثر بر همکنش دوگانه آنها نیز بر وزن تر و خشک ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج اثر متقابل نور LED و تنش خشکی بر وزن تر و خشک اندام هوایی (شکل ۲) نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، وزن تر ریشه در نور LED سفید به ترتیب ۴۰ و ۵۲/۷۰ درصد، در نور ۷۰ درصد قرمز+۳۰ درصد آبی به ترتیب ۳۶/۷۷ و ۴۷/۱۰ درصد، در نور ۱۰۰ درصد قرمز به ترتیب ۶/۵۲ و ۲۸/۰۸ درصد، در نور ۷۰ درصد آبی+۳۰ درصد قرمز به ترتیب ۱۶/۹۹ و ۳۳/۶۳ درصد، در نور ۱۰۰ درصد آبی به ترتیب ۵۶/۸۶ و ۶۵/۳۲ درصد و در نور ۵۰ درصد قرمز+۵۰ درصد آبی به ترتیب ۱۲/۱۸ و ۲۳/۹۶ درصد کاهش یافت. هم‌چنین با افزایش سطح تنش خشکی از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، وزن خشک ریشه در نور LED سفید به ترتیب ۱۷/۸۹ و ۲۸/۴۲ درصد، در نور ۷۰ درصد قرمز+۳۰ درصد آبی به ترتیب ۱۸/۱۳ و ۲۸/۰۴ درصد، در نور ۱۰۰ درصد قرمز به ترتیب ۷/۵۳ و ۲۲/۰۲ درصد، در نور ۷۰ درصد آبی+۳۰ درصد قرمز به ترتیب ۲۴/۰۵ و ۳۳/۳۳ درصد، در نور ۱۰۰ درصد آبی به ترتیب ۵۲/۸۴ و ۵۷/۱۰ درصد و در نور ۵۰ درصد قرمز+۵۰ درصد آبی به ترتیب ۱۴/۳۶ و ۲۲/۴۹ درصد کاهش یافت. نتایج نشان داد که تنش خشکی کمترین اثر (میزان کاهش) را در سطح تنش ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی بر وزن تر ریشه گیاه گندم به ترتیب در نور ۱۰۰ درصد قرمز و ۵۰ درصد قرمز+۵۰ درصد آبی و بر وزن خشک ریشه گیاه گندم به ترتیب در نور ۱۰۰ درصد قرمز و ۷۰ درصد قرمز+۳۰ درصد آبی و بیشترین اثر (میزان کاهش) را در هر دو سطح تنش، در نور ۱۰۰ درصد آبی داشته است. نتایج دانگ و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که بیشترین مقدار وزن ریشه در گیاه گندم در هر دو مرحله رویشی و گلدهی در ترکیب نور قرمز و آبی اتفاق افتاده است.

بهره‌وری آب: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس جدول (۱)، علاوه بر اثرات ساده نور LED و تنش خشکی، اثر بر همکنش دوگانه آنها نیز بر بهره‌وری آب گیاه گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج اثر متقابل نور LED و تنش خشکی بر بهره‌وری آب گندم شکل (۲) نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی بهره‌وری آب در نور LED سفید به ترتیب ۲۲/۳۱ و ۳۵/۸۷ درصد، در نور ۷۰ درصد قرمز+۳۰ درصد آبی به ترتیب ۲۱/۳۲ و ۳۲/۵۹ درصد، در نور ۱۰۰ درصد قرمز به ترتیب ۴۶/۳۸ و ۷۸/۳۱ درصد، در نور ۷۰ درصد آبی+۳۰ درصد قرمز به ترتیب ۳۰/۰۷ و ۴۶/۳۷ درصد و در نور ۵۰ درصد قرمز+۵۰ درصد آبی به ترتیب ۱۱/۵۵ و ۲۷/۳۹ درصد افزایش یافت. هم‌چنین با افزایش سطح تنش خشکی از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، در نور ۱۰۰ درصد آبی، بهره‌وری آب به ترتیب ۱۵/۷۱ و ۴۳/۶۳ درصد کاهش یافت. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب افزایش بهره‌وری آب در گیاه گندم گردید که ناشی از مصرف کمتر آب در ازای محصول تولید شده است. هم‌چنین در نور ۱۰۰ درصد آبی به دلیل عملکرد پایین گندم در سطوح مختلف تنش خشکی، میزان بهره‌وری آب کاهش یافت. خزائی و همکاران (۱۴۰۰)، نشان دادند که استفاده از نور LED موجب کاهش مصرف آب گیاه نعنای فلفلی (*Mentha piperita*) و افزایش بهره‌وری آب این گیاه گردید.

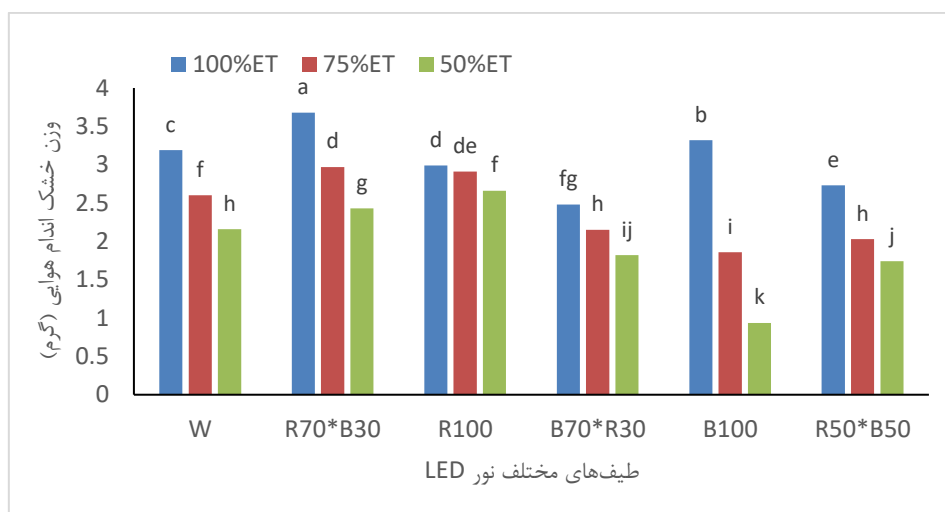
جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف نور LED و تنش خشکی بر بهره‌وری آب و بعضی خصوصیات مورفولوژیک گیاه گندم در مراحل اولیه رشد

میانگین مربعات							منابع تغییرات (S.O.V)
طول گیاه	بهره‌وری آب	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر اندام هوایی	درجه آزادی (df)	
۴۷۱/۶۷ **	۵/۱۸ **	۲/۸۵ **	۸۱/۳۲ **	۱/۵۶ **	۷۹/۹۹ **	۵	نور LED
۴۸۲/۰۰ **	۴/۲۰ **	۵/۵۱ **	۲۶۴/۳۰ **	۵/۵۵ **	۲۸۱/۹۷ **	۲	تنش خشکی
۱۶/۳۷ **	۱/۴۵ **	۰/۲۷۸ **	۱۵/۱۲ **	۰/۳۸۸ **	۱۴/۱۸ **	۱۰	تنش خشکی × LED
۴/۹۲	۰/۰۲۸	۰/۰۰۸	۰/۳۷۹	۰/۰۱۴۷	۰/۴۴۳	۳۶	خطا
۵/۲۲	۴/۳۲		۴/۰۱۹	۴/۸۹	۴/۳۷		ضریب تغییرات (درصد)

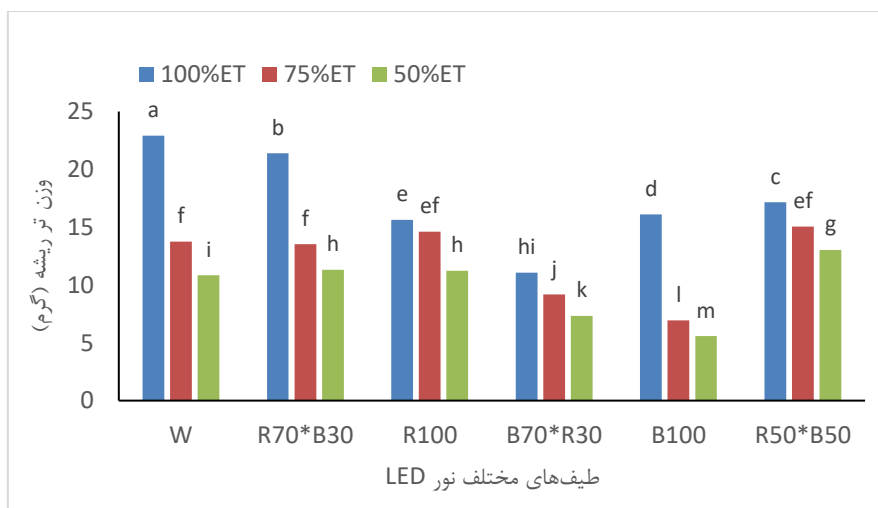
به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد



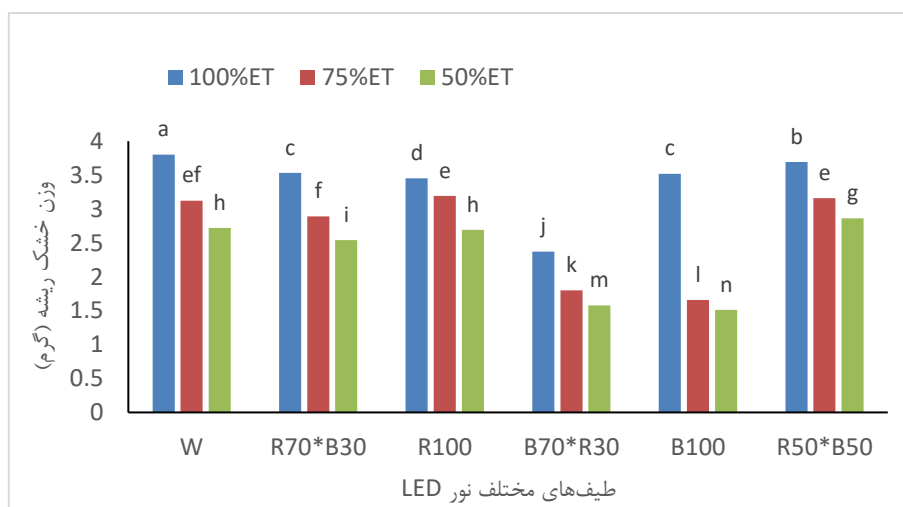
شکل ۲- مقایسه اثر برهمکنش تنش خشکی و سطوح مختلف نور LED بر وزن تر اندام هوایی گیاه گندم در مراحل اولیه رشد (W: ۱۰۰ درصد نور سفید، B100%: ۱۰۰ درصد آبی، R100%: ۱۰۰ درصد قرمز، B70%*R30%: ۷۰ درصد آبی و ۳۰ درصد قرمز، R70%*B30%: ۷۰ درصد قرمز و ۳۰ درصد آبی، R50%*B50%: ۵۰ درصد آبی و ۵۰ درصد قرمز)



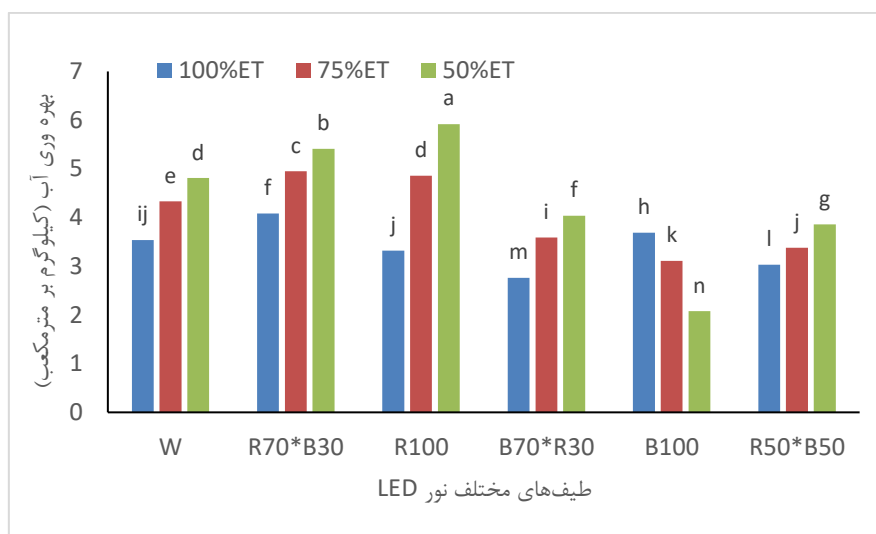
شکل ۳- مقایسه اثر برهمکنش تنش خشکی و سطوح مختلف نور LED بر وزن خشک اندام هوایی گیاه گندم در مراحل اولیه رشد



شکل ۴- مقایسه اثر برهمکنش تنش خشکی و سطوح مختلف نور LED بر وزن تر ریشه گیاه گندم در مراحل اولیه رشد

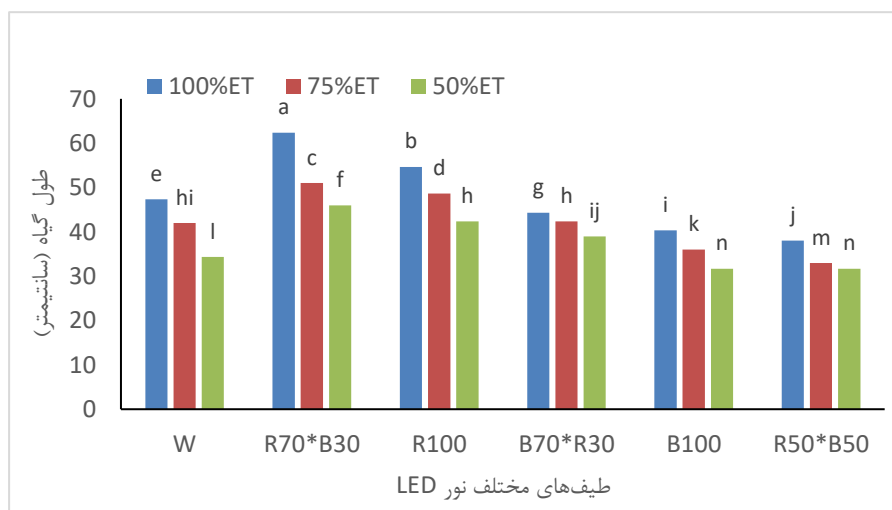


شکل ۵- مقایسه اثر برهمکنش تنش خشکی و سطوح مختلف نور LED بر وزن خشک ریشه گیاه گندم در مراحل اولیه رشد



شکل ۶- مقایسه اثر برهمکنش تنش خشکی و سطوح مختلف نور LED بر بهره‌وری آب گیاه گندم در مراحل اولیه رشد

طول بوته گیاه: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس جدول (۱)، علاوه بر اثرات ساده نور LED و تنش خشکی، اثر بر همکنش دوگانه آنها نیز بر ارتفاع گیاه گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج اثر متقابل نور LED و تنش خشکی بر ارتفاع گیاه گندم (شکل ۲) نشان داد که بیش‌ترین میزان کاهش در ارتفاع گیاه در اثر تنش خشکی، در نور ۷۰ درصد قرمز + ۳۰ درصد آبی رخ داد. در پژوهش خزائی و همکاران (۱۴۰۰)، بیش‌ترین میزان ارتفاع سه گونه گیاه نعنای در محیط‌های نوری قرمز و سفید گزارش شد. کاظمی و دهستانی (۱۴۰۱) نشان دادند که بیش‌ترین ارتفاع گیاه حسن یوسف در نور ۷۰ درصد قرمز + ۳۰ درصد آبی رخ داد.



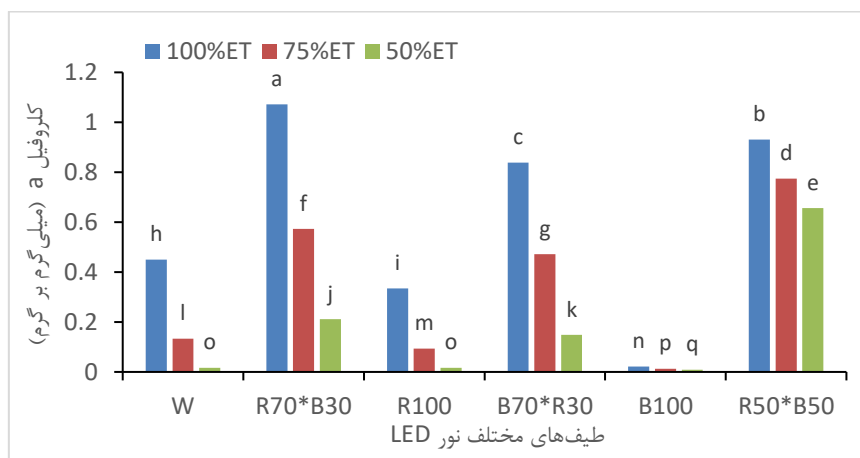
شکل ۷- مقایسه اثر برهمکنش تنش خشکی و سطوح مختلف نور LED بر طول گیاه گندم در مراحل اولیه رشد

محتوای رنگی‌های فتوسنتزی: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس جدول (۲)، علاوه بر اثرات ساده نور LED و تنش خشکی، اثر بر همکنش دوگانه آنها نیز بر رنگی‌های فتوسنتزی گیاه گندم (کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. نتایج اثر متقابل نور LED و تنش خشکی بر رنگی‌های فتوسنتزی

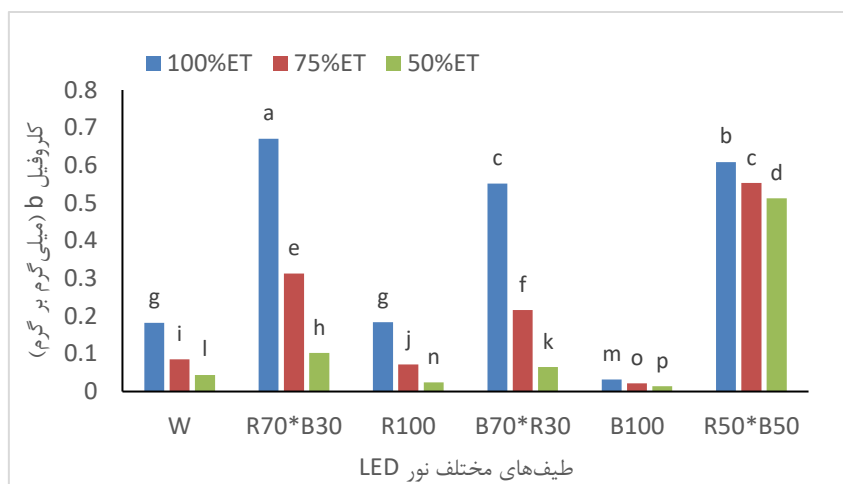
جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف نور LED و تنش خشکی بر رنگی‌های فتوسنتزی و غلظت عناصر گیاه گندم در مراحل اولیه رشد

میانگین مربعات								
منابع تغییرات (S.O.V)	جه آزادی (df)	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل کارتنوئیدها	پتاسیم (ppm)	فسفر (ppm)	منیزیم (ppm)	
نور LED	۵	۰/۸۱۶**	۰/۳۶۹**	۲/۲۶**	۹۳۳۶۴۴۱۳۱**	۱۰۲۰۵۸۸۴۶*	۱۱۴۷۰۴۱/۳**	
تنش خشکی	۲	۰/۸۵۲**	۰/۲۷۷**	۲/۱۰**	۱۴۲۵۶۱۳۳۳۳**	۲۲۴۷۳۱۰۵۳**	۳۷۸۸۴۶۵/۱**	
تنش خشکی × نور LED	۱۰	۰/۰۷۱**	۰/۰۳۹**	۰/۲۱۰**	۵۹۶۱۰۷۲۳**	۸۶۳۶۹۱۹۲ ^{ns}	۲۱۳۴۴۸/۹**	
خطا	۳۶	۰/۰۰۱۶	۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۱۸	۲۶۵۲۸۹۴	۴۲۴۶۶۶۵۰	۲۹۶۳/۷	
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۸۸	۱۹/۵۹	۷/۰۶	۲/۸۷	۱۳۶/۹۰	۲/۴۰	

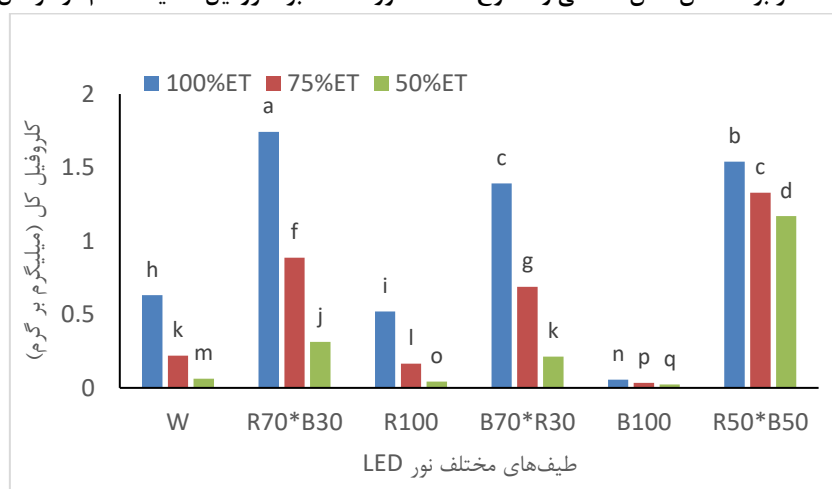
شکل (۸ تا ۱۱) حاکی از آن است که در هر ۶ حالت نوری و در هنگام آبیاری کامل، نور ۷۰ درصد قرمز + ۳۰ درصد آبی بیشترین مقدار کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها را به دست می‌دهد و در صورت اعمال تنش ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی) و نیز تنش شدید (۵۰ درصد نیاز آبی) بیشترین میزان کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدها در نور ۵۰ درصد قرمز + ۵۰ درصد آبی حاصل شد. نتایج حاکی از مقاومت بیشتر گیاه گندم در برابر کاهش رنگی‌های فتوسنتزی در نور ۵۰ درصد قرمز + ۵۰ درصد آبی در هنگام تنش خشکی است. نتایج پژوهش احمدی و همکاران (۱۳۹۶)، نشان داد که در نورهای مختلف LED (ترکیب قرمز و آبی) مقادیر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدهای گیاه بادنجمیویه افزایش یافت و بیشترین مقادیر آنها در ترکیب نور قرمز و آبی رخ داد. نتایج (دانگ و همکاران، ۲۰۱۴) نشان داد که بیشترین مقدار کلروفیل کل در گیاه گندم در هر دو مرحله رویشی و گلدهی در ترکیب نور قرمز و آبی (۷۰ درصد قرمز و ۳۰ درصد آبی) اتفاق افتاد.



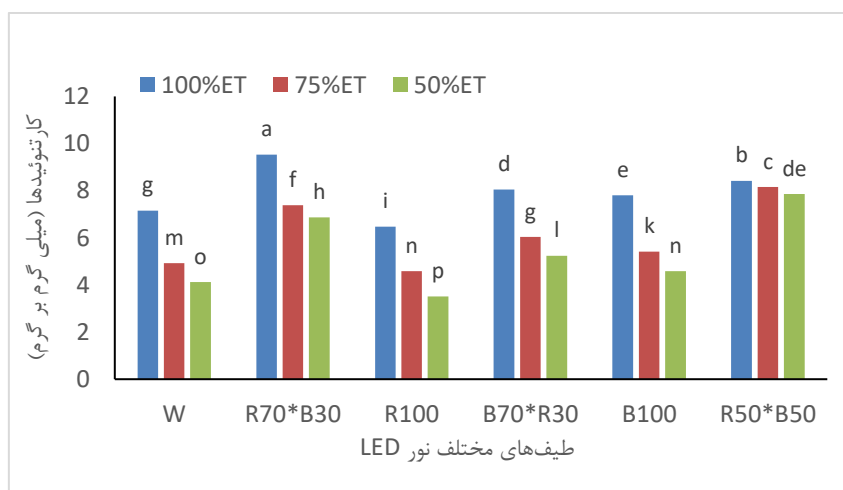
شکل ۸- مقایسه اثر برهمکنش تنش خشکی و سطوح مختلف نور LED بر کلروفیل a گیاه گندم در مراحل اولیه رشد



شکل ۹- مقایسه اثر برهمکنش تنش خشکی و سطوح مختلف نور LED بر کلروفیل b گیاه گندم در مراحل اولیه رشد



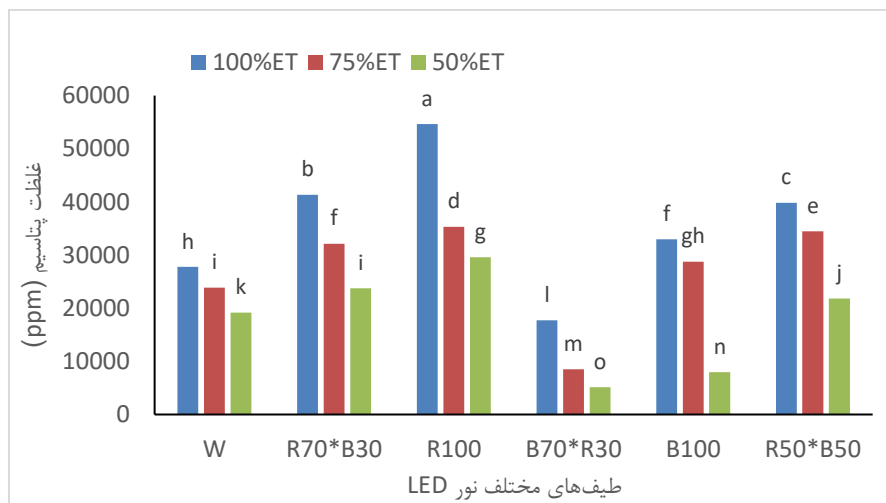
شکل ۱۰- مقایسه اثر برهمکنش تنش خشکی و سطوح مختلف نور LED بر کلروفیل کل گیاه گندم در مراحل اولیه رشد



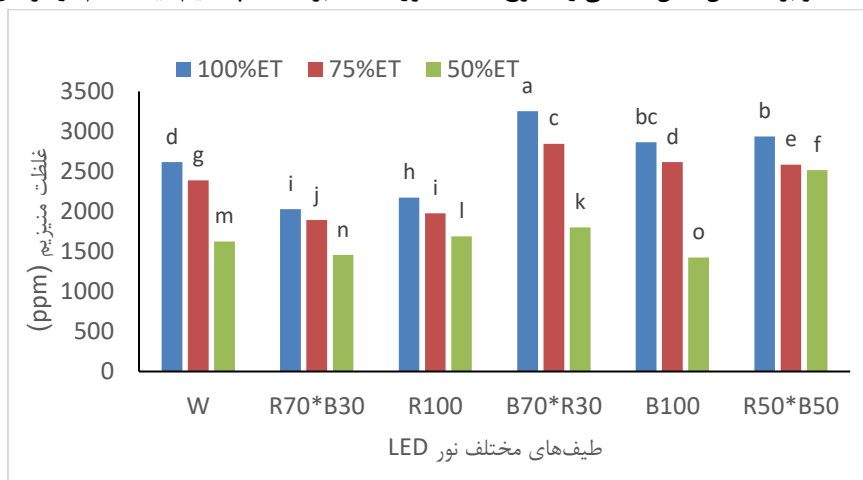
شکل ۱۱- مقایسه اثر برهمکنش تنش خشکی و سطوح مختلف نور LED بر کارتنوئیدها گیاه گندم در مراحل اولیه رشد

غلظت عناصر (پتاسیم، فسفر و منیزیم): بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس جدول (۳)، علاوه بر اثرات ساده نور LED و تنش خشکی، اثر بر همکنش دوگانه آنها نیز بر غلظت پتاسیم و منیزیم در گیاه گندم در سطح احتمال یک درصد معنی دار گردید. در خصوص غلظت فسفر تنها اثر ساده تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد و اثر ساده نور LED در سطح احتمال

پنج درصد معنی دار گردید. نتایج اثر متقابل تنش خشکی و نور LED بر غلظت پتاسیم و منیزیم نشان داد که در هنگام آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) گیاه گندم در مراحل اولیه رشد در نور ۱۰۰ درصد قرمز بالاترین غلظت پتاسیم و در نور ۷۰ درصد آبی + ۳۰ درصد قرمز، بالاترین غلظت منیزیم را داشت. در صورت اعمال تنش ملایم (۷۵ درصد نیاز آبی) و تنش شدید (۵۰ درصد نیاز آبی) بالاترین غلظت پتاسیم در نور ۱۰۰ درصد قرمز رخ داد. همچنین در صورت اعمال تنش ملایم بالاترین غلظت منیزیم در نور آبی ۷۰ درصد + ۳۰ درصد قرمز و در تنش شدید بیشترین غلظت منیزیم در نور ۵۰ درصد قرمز + ۵۰ درصد آبی رخ داد. نتایج (زندگی و همکاران، ۱۳۹۵)، نشان داد که تنش خشکی در سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی باعث کاهش جذب فسفر در گیاه گندم گردید.



شکل ۱۲- مقایسه اثر برهمکنش تنش خشکی و سطوح مختلف نور LED بر غلظت پتاسیم گیاه گندم در مراحل اولیه رشد



شکل ۱۳- مقایسه اثر برهمکنش تنش خشکی و سطوح مختلف نور LED بر غلظت منیزیم گیاه گندم در مراحل اولیه رشد

نتیجه‌گیری

نور یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی برای رشد و بقای گیاهان به شمار می‌رود. آب نیز یکی از فاکتورهای اساسی در عملکرد کمی و کیفی گیاهان از جمله گیاه گندم است. پژوهش حاضر نشان داد که با اعمال تنش خشکی به میزان ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه، صفات مورد بررسی شامل وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه، طول گیاه، رنگیزه‌های فتوسنتزی و غلظت پتاسیم، فسفر و منیزیم در گیاه گندم و در مراحل اولیه رشد کاهش و بهره‌وری آب افزایش یافت. همچنین نتایج نشان داد که در بین طیف‌های مختلف نور LED، بالاترین مقادیر در خصوصیات رشدی گیاه گندم (وزن تر و خشک اندام هوایی، وزن تر و خشک ریشه و طول گیاه) و بهره‌وری آب در طیف نور ۷۰ درصد قرمز + ۳۰ درصد آبی رخ داد. همچنین نتایج حاکی از این بود که بیشترین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاه گندم در نور ۵۰ درصد قرمز + ۵۰ درصد آبی به دست آمد. در خصوص

غلظت عناصر نیز نتایج نشان داد که بیشترین غلظت پتاسیم در نور ۱۰۰ درصد قرمز، بیشترین غلظت فسفر در نور سفید و بیشترین غلظت منیزیم در طیف نوری ۵۰ درصد قرمز + ۵۰ درصد آبی حاصل شد. نتایج حاکی از تاثیرگذاری طیف‌های مختلف نور LED بر خصوصیات مورفولوژی، فیزیولوژی و غلظت عناصر موجود در گیاه گندم دارد و می‌توان با تغییر طیف نوری، عملکرد بیشتری را حاصل نمود.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده از محل اعتبارات پژوهشی مجتمع آموزش عالی تربت جام است که بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی مجتمع، تقدیر و تشکر می‌گردد.

References

- احمدی، ط، شبانی، ل و سبزیلیان، م. (۱۳۹۶). بررسی تاثیر طیف‌های مختلف نور LED بر شاخص‌های رشد و محتوای رزمارینیک اسید در *Melissa officinalis L*. فرآیند و کارکرد گیاهی. ۶(۲۱)، ۲۱۳-۲۲۲.
- حسینعلی‌پور، ب، راهنما، ا و فرخیان فیروزی، ا (۱۳۹۹). اثر تنش خشکی بر رشد و معماری ریشه گندم در مرحله رشد رویشی. علوم گیاهان زراعی ایران. ۵۱(۱)، ۶۳-۷۵.
- حیدری‌زاده، پ، زاهدی، م و سبزیلیان، م. (۱۳۹۳). تاثیر نور LED بر عملکرد گیاه، درصد اسانس و میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در نعنای فلفلی. فصلنامه فرآیند و کارکرد گیاهی. ۳(۲)، ۱۳-۲۴.
- خزائی، م، رفیعی، ف، سبزیلیان، م. ر و هوشمند، س (۱۴۰۰). تاثیر طیف‌های مختلف نور LED بر صفات مورفوفیزیولوژیک سه گونه نعنای. علوم باغبانی ایران. ۵۲(۲)، ۴۶۱-۴۷۱.
- زند، ز، خراسانی، ر و حلاج‌نیا، ا (۱۳۹۵). اثر تنش خشکی بر جذب فسفر در گیاه گندم. کرمان. دومین همایش ملی مدیریت پایدار منابع خاک و محیط زیست.
- کاظمی، د و دهستانی اردکانی، م (۱۴۰۱). تاثیر طیف‌های نوری مختلف بر ویژگی‌های رشدی و عملکرد فتوسنتزی چهار رقم حسن یوسف. علوم باغبانی ایران. ۵۳(۱)، ۴۵-۵۸.
- کیانی، ع. (۱۳۹۷). روش ساده تعیین زمان و مقدار آب آبیاری برای گندم. تهران. نشر آموزش کشاورزی.
- Ahmadi, T., Shabani, V., Sabzalian, M. R. 2017. Effects of LED light spectrum on growth and rosmarinic acid content in *Melissa officinalis L*. *Plant Process and Function*. 6 (21), pp.:213-222 (In persian).
- Arnon, A.N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*. 23, pp. 112-121.
- Darko E., Heydarizadeh, P., Schoefs, B., Sabzalian, M.R. 2014. Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism, *Philosophical Transactions of Royal Society*, 369 (1640), pp. 1-7 (In persian).
- Dong C., Fu Y., Liu G., Liu H. 2014. Growth, Photosynthetic Characteristics, Antioxidant Capacity and Biomass Yield and Quality of Wheat Exposed to LED Light Sources with Different Spectra Combinations. *Journal of Agronomy and Crop Science*. Pp. 219-230.
- Fan, X., Zang, J., Xu, Z., Guo, S., Jiao X., Liu X., Gao, Y. 2013. Effects of different light quality on growth, chlorophyll concentration and chlorophyll biosynthesis precursors of non-heading Chinese cabbage (*Brassica campestris L.*). *Acta Physiologiae Plantarum*. 35, pp. 2721-2726.
- Gyugos, M., Ahres, M., Gulyas, Z., Szalai, G., Darko, E., Mednyanszky, Z., Dey, N., Kar, R., Kocsy, G. 2021. Light spectrum modifies the drought-induced changes of glutathione and free amino acid levels in wheat. *Acta Physiologiae Plantarum*. pp. 43:90.
- Heidarizadeh, P., Zahedi, M., Sabzalian, M. R. The effect of LED light on plant performance, essential oil percentage and the activity of antioxidant enzymes in peppermint. 2014. *Journal of Plant Process and Function*. 3 (8), pp. 13-24 (In persian).
- Hoseinalipour, B., Rahnama, A., Farokhian Firozi, A. 2020. Effect of drought stress on wheat root growth and architecture at vegetative growth stage. 51 (1), pp. 63-75 (In persian).
- Kazemi, D., Dehestani Ardakani, M. 2022. Effect of different light spectra on growth characteristics and photosynthesis yield of four cultivars of coleus (*Solenostemon scutellarioides L.*) *I. ranian Journal of Horticultural Science*. 53 (1), pp. 45-58 (In persian).

- Kiani, A R. 2018. A simple method of determining the time and amount of irrigation water for wheat. *Publications of agricultural education*. Karaj (In persian).
- Khazaei, M., Rafiei, F., Sabzalian, M R., Hoshmand, S. 2021. Effect of light emitting diodes irradiation on morpho-physiological traits of three Mentha Spp.52 (2), pp. 461-471 (In persian).
- Macedo, A.F., Leal-Costa, M.V., Tavares, E.S., Lage, C.L.S. Esquibel, M.A. 2011. The effect of light quality on leaf production and development of in vitro-cultured plants of Alternanthera brasiliana Kuntze. *Environmental and Experimental Botany*. 70(1), pp. 43–50.
- Molas, M. L., Kiss J.Z., Correll, M.J. 2006. Gene profiling of the red-light signaling pathways in roots. *Journal of Experimental Botany*. 57(12), pp. 3217-3229.
- Mondal, S., Singh, R.P., Mason, E.R., Huerta-Espino, J., Autrique, E., Joshi, A.K. 2016. Grain yield, adaptation and progress in breeding for early-maturing and heat-tolerant wheat lines in South Asia. 192, pp. 78-85.
- Naznin, M.T., Lefsrud, M., Gravel, V., Azad, M.O.K. 2019. Blue light added with red LEDs enhance growth characteristics, pigments content, and antioxidant capacity in lettuce, spinach, kale, basil, and sweet pepper in a controlled environment. *Plants*. 8 (4), pp.1-12.
- Yuan, B. Z., Kang, Y, Nishiyama, S. 2001. Drip irrigation scheduling for tomatoes in unheated greenhouse. *Irrigation Science*. 20, pp. 149 – 154.
- Zandi, Z., Khorasani, R., Halajnia, A. 2016. The effect of drought stress on phosphorus absorption in wheat plants. 2th national conference on sustainable management of soil resources and environment.