

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Effect of Light Quality and Sapling Age on Antioxidants Activity and some Biochemical Characteristics of Grapevine (*Vitis vinifera* L., var, ‘Yaghooti’) Under Salinity Stress in Greenhouse

Keshavarzi¹, M. and Esna-Ashari^{2*}, M.

1 and 2. PhD Student and Professor , Respectively, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

*: Corresponding Author Email: m.esnaashari@basu.ac.ir

Received: 2025/04/14

Accepted: 2025/06/07

Introduction

Light quality is a critical factor directly influencing normal growth and secondary metabolite biosynthesis in plants. Blue and red lights, with their key roles, are essential for leaf photosynthetic performance. Blue light, with a wavelength of 420-450 nm, plays a crucial role in chlorophyll synthesis, photomorphogenesis, and anthocyanin synthesis. Red light, with a wavelength of 600-675 nm, regulates the synthesis of phytochemical compounds such as phenolic compounds. The combination of red and blue lights, as an optimal light quality, regulates normal growth in most plants. Salinity, particularly in arid and semi-arid regions where the majority of grape cultivation occurs, significantly limits grape production globally, including in Iran. With diminishing water resources, the utilization of saline or low-quality water becomes unavoidable, necessitating the exploration of strategies to enhance tolerance to such water conditions. This study hypothesized that employing specific ratios of red and blue light for a limited period at the end of the day could effectively mitigate the adverse effects of salinity stress, address light limitations, improve plant nutritional quality, stimulate antioxidant synthesis, and maintain high yields.

Materials and Methods

This research investigated the impact of light quality on enzymatic and non-enzymatic antioxidant levels in two- and three-year-old ‘Yaghooti’ grape saplings subjected to salinity stress in a greenhouse. The study was conducted as a factorial experiment with three factors based on a completely randomized design with three replicates over two consecutive years. The first factor was light quality at five levels: 100% red light, 100% blue light, red/blue light combinations at 70/30 and 50/50 ratios provided as end-of-day lighting, and natural greenhouse light (control). The second factor was electrical conductivity of the nutrient solution induced by adding sodium chloride at four levels: 1.67 mS/cm (control), 3.63, 6.05, and 10.23 mS/cm. The third factor was sapling age at two levels: two and three years. Following the treatment period each year, leaf proline content, total phenol concentration (using the Folin-Ciocalteu method), total flavonoid concentration, anthocyanin content, catalase enzyme activity (by measuring the decrease in hydrogen peroxide absorbance), peroxidase enzyme activity (using guaiacol), superoxide dismutase enzyme activity, and soluble protein content were measured.

Results and Discussion

The results indicated that the 50/50 red/blue light combination and 100% blue light were effective in maintaining and increasing anthocyanin content, particularly in three-year-old saplings. However, other measured characteristics were generally higher in two-year-old saplings. Blue light significantly increased total phenol and flavonoid content and peroxidase enzyme activity at 10.23 mS/cm salinity. The 50/50 red/blue light combination resulted in the highest, and 100% red light the lowest, levels of proline and soluble proteins at 10.23 mS/cm salinity, whereas 100% red light showed the greatest impact on soluble carbohydrate content and catalase and superoxide dismutase enzyme activities. The red/blue light combination, especially at a 70/30 ratio, proved more effective in improving the vitality of ‘Yaghooti’ grapevines under greenhouse conditions compared to monochromatic lights, and also mitigated the negative effects of salinity, enhancing both quantitative and qualitative parameters, ultimately improving salinity tolerance in grape saplings. Further results of this study revealed the seedling age response to salinity stress, where the content of phenolic compounds (total phenols and flavonoids), proline, carbohydrates, soluble proteins, and antioxidant enzymes were higher in two-year-old seedlings compared to three-year-old seedlings. The increased accumulation of these

compounds as plant defense mechanisms in younger seedlings indicates their higher sensitivity and greater requirement to cope with stress and ensure survival.

Conclusion

Overall, the study demonstrated that light quality treatments, contrary to salinity stress, reduced the activity of antioxidant enzymes, while significantly increasing the levels of soluble proteins, soluble carbohydrates, proline, anthocyanin, phenol, and leaf flavonoids (non-enzymatic antioxidants) in response to salinity. The application of artificial lighting with specific qualities, particularly the 70/30 red/blue combination, effectively improved light conditions and regulated the levels of beneficial compounds. It appears that by optimizing environmental conditions for ‘Yaghooti’ grapes and achieving adequate non-enzymatic antioxidant concentrations, the necessity for increased enzymatic antioxidant activity was diminished. Therefore, the use of red and blue light, either alone or in specific combinations via LED lamps, can serve as a general strategy to enhance beneficial compound production and improve stress tolerance in greenhouse-grown plants.

Keywords: Anthocyanin, catalase, phenol, protein, superoxide dismutase, red and blue lights

Citations: Keshavarzi, M. and Esna-Ashari, M. (2025). Effect of Light Quality and sapling Age on Antioxidants Activity and some Biochemical Characteristics of Grapevine (*Vitis vinifera* L., var, ‘Yaghooti’) Under Salinity Stress in Greenhouse. *Plant Production Technology*, 25(1), 121-137.

<https://doi.org/10.22084/ppt.2025.30812.2156>

© 2022 The Author(s). Bu- Ali Sina University Publication. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

اثر کیفیت نور و سن نهال بر فعالیت آنتی اکسیدانی و برخی ویژگی های بیوشیمیایی در انگور یاقوتی تحت تنش شوری در گلخانه

Effect of Light Quality and sapling age on Antioxidants Activity and some Biochemical Characteristics of Grapevine (*Vitis vinifera* L., var, 'Yaghooti') Under Salinity Stress in Greenhouse

مریم کشاورزی^۱ و محمود اثنی عشری^{۲*}

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۱۷ تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۲۵

(مقاله پژوهشی)

چکیده

این مطالعه به صورت یک آزمایش فاکتوریل با سه فاکتور بر پایه طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. فاکتور اول کیفیت نور در پنج سطح: قرمز کامل، آبی کامل، ترکیب نورهای قرمز و آبی (۷۰ و ۳۰ و مساوی ۵۰ درصد) به صورت نوردی در پایان روز و نور طبیعی گلخانه (شاهد)، فاکتور دوم هدایت الکتریکی محلول غذایی در چهار سطح: ۱/۶۷ (تیمار شاهد)، ۳/۶۳، ۶/۰۵ و ۱۰/۲۳ میلی زیمنس بر سانتی متر و فاکتور سوم سن نهال در دو سطح دو و سه ساله بودند. نتایج نشان داد که کیفیت نور فعالیت آنزیم ها را کاهش داد؛ اما در دیگر ویژگی های بررسی شده همسو با تنش شوری تأثیر افزایشی داشت. به طوری که در تنش ۱۰/۲۳ میلی زیمنس بر سانتی متر: ترکیب نورهای قرمز و آبی به نسبت مساوی و نور آبی کامل در افزایش و حفظ بیشتر آنتوسیانین مؤثر بودند. افزایش فنول و فلاونوئیدکل و فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمار نور آبی کامل مشاهده شد. نور قرمز و آبی (۵۰ و ۵۰ درصد) بیشترین و نور قرمز کامل کمترین تأثیر را در افزایش میزان پروتئین و پروتئین های محلول داشتند، در حالی که نور قرمز کامل در افزایش میزان کربوهیدرات های محلول، فعالیت آنزیم های کاتالاز و سوپراکسید دیسموتاز بیشترین تأثیر را نشان داد. محتوی همه شاخص ها به جزء آنتوسیانین در نهال های دوساله بیشتر از آن ها در نهال های سه ساله مشاهده شد. با توجه به نتایج، استفاده از ترکیب نورهای قرمز و آبی در بهبود کیفیت رشد انگور رقم یاقوتی تحت شرایط شوری در گلخانه مؤثرتر از نورهای تک رنگ بود و همچنین ویژگی های کمی و کیفی شاخص های مختلف را ارتقاء دادند که در نهایت به تحمل نهال های انگور در مقابل تنش شوری منجر شد.

واژه های کلیدی: آنتوسیانین، کاتالاز، فنول، پروتئین، سوپراکسید دیسموتاز، نورهای قرمز و آبی

ارجاع به مقاله: کشاورزی، م.، اثنی عشری، م. (۱۴۰۴). اثر کیفیت نور و سن نهال بر فعالیت آنتی اکسیدانی و برخی ویژگی های بیوشیمیایی در انگور یاقوتی تحت تنش شوری در گلخانه، مجله فناوری تولیدات گیاهی، ۲۵ (۱)، ۱۲۱-۱۳۷. <https://doi.org/10.22084/ppt.2025.30812.2156>

حق نشر متعلق به نویسنده (گان) است و نویسنده تحت مجوز Commons Creative License

Attribution (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) به مجله اجازه می دهد مقاله ی چاپ شده را در

سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.



شاپا چاپی: ۲۴۷۶-۶۳۲۱

شاپا الکترونیکی: ۲۴۷۶-۵۶۵۱

۱. مقدمه

کشت گلخانه‌ای درختان میوه معتدله از جمله انگور در مناطق مختلفی از جهان انجام شده است که از مهمترین اهداف آن‌ها می‌توان به تولید محصول خارج از فصل، تولید پایدار محصول در طول سال، افزایش کیفیت محصول، حفاظت درختان میوه در مقابل شرایط نامساعد محیطی، بهنژادی و کنترل بهتر آفات و بیماری‌های مختلف اشاره کرد (Shuai et al., 2016). به دلیل اینکه ارقام انگور برای تولید محصول خوب به شدت بالای نور نیاز دارند و از طرف دیگر پوشش‌های گلخانه نور کمتری را عبور می‌دهند، به‌ویژه در فصول پاییز و زمستان که طول روز نیز کوتاه‌تر می‌باشد، استفاده از نوردهی مصنوعی در پایان روز به منظور افزایش طول روز، شدت تابش نور و تولید محصول در خارج از فصل به‌ویژه در ساعات کم‌نور روز برای رفع محدودیت‌های فوق ضروری است (Kim et al., 2019). انگور رقم یاقوتی یکی از زودرس‌ترین ارقام در ایران می‌باشد که این ویژگی می‌تواند کشت آن را در گلخانه مناسب سازد. این رقم دارای حبه‌های کوچک، گرد و قرمز رنگ با مصرف تازه‌خوری است، بوته‌هایی بالا رونده با ساقه‌هایی گره‌دار دارد و دارای برگ‌هایی بدون برگچه و دنداندار هستند و نیاز سرمایی این رقم ۴۰۰ ساعت دمای کمتر از هفت درجه سانتی‌گراد می‌باشد (Garajian and Eshghi, 2012).

کیفیت نور یکی از محرک‌های کلیدی است که به‌طور مستقیم بر رشد سلول‌های گیاهی، تولید بهینه محصول و بیوسنتز آنتی اکسیدان‌ها تأثیر می‌گذارد (Warner et al., 2021). امروزه شدت و کیفیت نور را با استفاده از منبع نور با تکنولوژی LED، به دلیل دو مزیت اصلی آن، یعنی راندمان بالای انرژی و کنترل دلخواه الگوهای تابش، به‌طور گسترده و هدفمند در گلخانه تنظیم می‌کنند (Shao et al., 2020). علاوه بر این مزایا، طول عمر بالا و مصرف کمتر برق و انتشار کم گرما، طبیعت سازگاری LED ها را با محیط زیست برجسته کرده است. استفاده هدفمند از LED ها ممکن است مواد فتوشیمیایی گیاه را به میزان قابل توجهی غنی سازد (Taulavuori et al., 2018). نورهای آبی و قرمز با نقش‌های کلیدی خود برای عملکرد فتوسنتزی برگ ضروری هستند. نور آبی با طول موج ۴۲۰ تا ۴۵۰ نانومتر نقش مهمی در سنتز کلروفیل، فتومورفوزن و سنتز آنتوسیانین ایفا می‌کند و همچنین

نور قرمز با طول موج ۶۰۰ تا ۶۷۵ سنتز ترکیبات فتوشیمیایی مانند ترکیبات فنولی را تنظیم می‌کند، و ترکیب نورهای قرمز و آبی به عنوان یک کیفیت نوری مطلوب، رشد بهینه را در بیشتر گیاهان تنظیم می‌کنند (Shao et al., 2020, Liu et al., 2012).

یکی از عمده‌ترین عوامل محدودکننده کاشت انگور شوری آب و خاک در مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد و در واقع، سطح زیر کشت انگور نیز در مناطق مذکور بیشتر از مناطق دیگر گسترش یافته است، همچنین کمبود آب و بارندگی محدود، گرمای زیاد، تبخیر و تعرق بالا، کیفیت پایین آب‌های کشاورزی و یا روش‌های غلط آبیاری و مدیریت ضعیف در سیستم‌های آبیاری این مشکل را جدی‌تر ساخته است. (Mozafari et al., 2018). با کاهش منابع آب، استفاده از آب‌های شور و یا آب‌هایی با کیفیت پایین اجتناب‌ناپذیر خواهد بود، و بررسی راه کارهایی برای افزایش تحمل به آب‌های فاقد کیفیت (شور یا نیمه شور) ضروری می‌باشد.

در شرایط تنش توانایی رشد و زنده ماندن گونه‌های مختلف گیاهی بستگی زیادی به سن گیاه، نوع گونه گیاهی، مراحل رویشی، عوامل محیطی و مدت زمان تنش دارد (Nikouee et al., 2024). همانند اکثر گیاهان زراعی که جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه حساس‌ترین مراحل به تنش شوری گزارش شده است (Javid et al., 2021)، هرچه سن نهال انگور کمتر باشد، به دلیل رشد و توسعه کمتر ریشه (جهت جذب مطلوب آب و مواد مغذی) و اندام‌های فتوسنتزی، این گیاه حساسیت بیشتری به تنش شوری نشان می‌دهد (keshavarzi, 2022). ارقام انگور تنوع زیادی از نظر سطوح تحمل به شوری دارند و دامنه مشخصی برای تحمل به شوری در این ارقام گزارش نشده است. با توجه به تحمل اکثر ارقام انگور به غلظت نمک ۴/۳۶ تا ۶/۰۵ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر، می‌توان انگور را در گروه گیاهان نیمه حساس به شوری قرار داد (Stavans and Walker, 2012). در ارتباط با میزان تحمل به شوری انگور رقم یاقوتی محدوده مشخصی گزارش نشده است، اما برخی منابع به تحمل نسبتاً بالای این رقم اشاره دارند (Sohrabi and Ebadi, 2017). پیشنهاد شده است که در صورت استفاده از آب شور برای آبیاری، برای جلوگیری از هر گونه کاهش عملکرد، باید آبخوبی افزایش یابد (keshavarzi, 2022).

می‌تواند با غلبه تأثیر کیفیت نور بر اثرات منفی تنش شوری رخ دهد.

بخشی از فعالیت آنتی‌اکسیدانی انگور به علت داشتن ترکیبات فنولیکی مانند فنول‌ها، آنتوسیانین‌ها و فلاونوئیدهاست که در شرایط مطلوب محیطی، توسط نور دریافتی و از طریق گیرنده‌های نوری گیاه تحریک و تولید می‌شوند (Pileh and Ghasemzadeh, 2017). مقدار ترکیبات فنولی در سلول به عنوان پاسخ‌های سازگاری، در شرایط تنش تغییر می‌کند و منجر به بهبود تحمل گیاه می‌شود (Gonzalez et al., 2019). بیوستنز ترکیبات فنولی به‌ویژه آنتوسیانین‌ها و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در انگور تحت تأثیر نورهای قرمز و آبی به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد که تأثیر نور آبی بیشتر از نور قرمز بوده است (Warner et al., 2021).

تاکنون مطالعات بسیاری، اثر نورهای قرمز و آبی را فقط بر ارقام مختلفی از گیاهان زینتی، علفی و دارویی مورد بررسی قرار داده اند، اما هنوز اطلاعات جامعی در ارتباط با برهمکنش کیفیت نور با دیگر فاکتورهای محیطی مثل تنش شوری بر گیاهان مختلف در دسترس نیست. لذا، این پژوهش بر آن شد تا اثر کیفیت نور حاصل از ال‌ای‌دی را روی شماری از ویژگی‌های فوق بر نهال‌های ریشه‌دار دو و سه‌ساله انگور رقم یاقوتی، در شرایط شوری و گلخانه مورد بررسی قرار دهد.

۲. مواد و روش‌ها

در این پژوهش از نهال‌های ریشه‌دار یک‌ساله انگور رقم یاقوتی (*Vitis vinifera L., var, 'Yaghooti'*)، به طول میانگین ۲۰ سانتی‌متر که در اوایل بهار سال ۱۳۹۸ از ایستگاه تحقیقات انگور شهرستان ملایر تهیه شد، استفاده گردید. نهال‌های مذکور ابتدا با غوطه‌ور شدن در محلول قارچ‌کش بنومیل با غلظت دو در هزار، و به مدت ۲۰ دقیقه ضدعفونی و به‌طور کامل شستشو شدند، و سپس به گلخانه و به گلدان‌های هفت لیتری حاوی کوکوپیت و پرلیت (با نسبت حجمی ۱:۱) منتقل و در شرایط هیدروپونیک با تغذیه از محلول غذایی هوگلند تغییر یافته به شرح جدول ۱ تا شروع تیماردهی (اول بهمن ماه) رشد یافتند.

تحت شرایط تنش شوری، علاوه بر اثرات اسمزی و سمیت یونی، گیاهان نور بیشتری برای فتوستنز جذب می‌کنند که منجر به انرژی اضافه می‌شود، تجمع انرژی مازاد هم به تولید گونه‌های فعال اکسیژن منجر می‌شود که می‌تواند به دستگاه فتوستنزی آسیب وارد کند؛ بنابراین برای کاهش و یا تجزیه آن‌ها غلظت آنتی‌اکسیدان‌های گیاه افزایش می‌یابد که به عنوان بخشی از مکانیسم‌های دفاعی در برابر تنش اکسیداتیو عمل می‌کنند (Shao et al., 2020).

بالا رفتن میزان فعالیت آنزیم‌های مختلف در گیاه نشان‌دهنده یک پاسخ دفاعی سریع به آسیب‌های ناشی از شوری کلریدسیدیم در محیط‌کشت گیاه می‌باشد (Mozafari et al., 2018). افزایش فعالیت آنزیم‌هایی مثل کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز در سطوح شدید شوری در رقم‌های مختلف انگور در بسیاری از پژوهش‌ها گزارش شده است (Karimi et al., 2017a). ترکیبات فنولی نیز علاوه بر اینکه نقش مهمی در فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه دارند، در افزایش تحمل به تنش‌ها دارای اهمیت زیادی هستند (Rezazadeh-Bari et al., 2021). با این حال اگر شدت و مدت تنش خیلی طولانی گردد، مکانیسم‌های دفاعی گیاه نمی‌توانند به موقع گونه‌های فعال اکسیژن را تجزیه کنند و این به‌طور جدی رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Shao et al., 2020). از جمله عوامل اساسی که در گیاه برای القاء تحمل به تنش‌ها شناخته شده هستند می‌توان به تغذیه کامل همراه با شرایط نوری بهینه، دمای مطلوب و آبیاری مناسب، اشاره کرد. هر طیف خاصی از نور می‌تواند منجر به تحریک مکانیسم‌ها و پاسخ‌های مشخصی در گیاه گردند، مثلاً نورهای قرمز و آبی بر سنتز رنگیزه‌های مختلف در گیاه تأثیر می‌گذارند، که در نهایت می‌توانند در پاسخ گیاه به تنش‌های محیطی نیز مؤثر باشند (Pinho et al., 2012). لذا فرض بر این شد که استفاده از کیفیت‌های مختلف نور قرمز و آبی به مدت محدودی در پایان روز ممکن است راه موثری برای رفع محدودیت‌های نوری باشند و همچنین برای بهبود کیفیت تغذیه گیاه، فعال کردن سنتز آنتی‌اکسیدان‌های بیشتر و در عین حال تضمین عملکرد بالا مفید باشد که این اهداف

Table 1: Compounds in modified Hoagland nutrient solution (g /100 liters of distilled water)

Calcium nitrate	Ammonium nitrate	EDDHA	Potassium nitrate	Potassium sulfate	Magnesium sulfate	Mono potassium phosphate	Manganese sulfate	Zinc sulfate	Copper sulfate	Borax	Sodium molybdate
80	2	50	50	6	30.2	50	50	50	50	50	50

لامپ در هر گروه نوری) به صورت ذیل نصب شدند. گروه اول: که با نور طبیعی گلخانه تیمار شدند، گیاهان گروه شاهد محسوب گردیدند و هیچ نوع نور مصنوعی دریافت نکردند. گروه‌های دوم تا پنجم به ترتیب تحت نوردهی با نور قرمز کامل، آبی کامل، ترکیب نورهای قرمز و آبی ۷۰ و ۳۰ درصد و مساوی ۵۰ درصد بودند که با شدت ۷۶ میکرومول بر سانتی متر مربع در ثانیه تنظیم شدند. تیمارهای نوری فوق به مدت سه ماه در هر دو سال متوالی (بهمن و اسفند ۱۳۹۸ - فروردین ۱۳۹۹ و بهمن و اسفند ۱۳۹۹ - فروردین ۱۴۰۰) به صورت اتوماتیک در پایان هر روز اعمال گردیدند، به طوری که از ساعت چهار بعد از ظهر روشن و در ساعت هشت شب خاموش می شدند. مراحل انجام آزمایش و تیماردهی در شکل ۱ نشان داده شده است.

همزمان با تیمار نوری، تیمارهای شوری نیز به صورت یک روز در میان روی گیاهان اعمال شد، به این ترتیب که قبل از شروع تیماردهی، همه گیاهان در یک ارتفاع یکسان (به شکل تک شاخه) هرس شدند. بعد از این مرحله، به صورت تصادفی به چهار گروه شش تایی تقسیم و به کمک نخ به قیم بسته شدند. گروه اول (شاهد) فقط محلول غذایی بدون اضافه کردن کلرید سدیم دریافت کرد. میزان هدایت الکتریکی محلول غذایی معادل ۱/۶۷ میلی زیمنس بر سانتی متر بود که به عنوان گروه شاهد از نظر شوری در نظر گرفته شد. به محلول غذایی گروه‌های دوم تا چهارم نمک کلرید سدیم اضافه گردید، به طوری که هدایت الکتریکی این محلول‌ها به ترتیب معادل ۳/۶۳، ۶/۰۵ و ۱۰/۲۳ میلی زیمنس بر سانتی متر شد.

آب مقطر استفاده شده دارای پی‌اچ ۶/۱۵ و هدایت الکتریکی ۰/۱۲۲ میلی زیمنس بر سانتی متر بود. پژوهش به صورت یک آزمایش فاکتوریل با سه فاکتور در قالب طرح کاملاً تصادفی، با سه تکرار و در هر تکرار ۲ نهال طی دو سال متوالی (۱۳۹۸-۱۳۹۹ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹) و در هر سال به مدت سه ماه به اجرا درآمد. فاکتور اول کیفیت نور در پنج سطح شامل: قرمز کامل با طول موج ۶۲۳ نانومتر، آبی کامل با طول موج ۴۷۸ نانومتر، دو ترکیب نورهای قرمز و آبی با نسبت‌های ۷۰ و ۳۰ درصد و ۵۰ درصد به صورت نوردهی در پایان روز و شاهد (نور طبیعی گلخانه)، فاکتور دوم هدایت الکتریکی ناشی از اضافه کردن کلرید سدیم با خلوص ۹۹/۴۵ درصد (تولید شده در شرکت دیاکو در ایران- استان کردستان) به محلول غذایی در چهار سطح شامل ۱/۶۷ میلی زیمنس بر سانتی متر (تیمار شاهد)، ۳/۶۳، ۶/۰۵ و ۱۰/۲۳ میلی زیمنس بر سانتی متر (keshavarzi, 2022) و فاکتور سوم سن نهال در دو سطح دوساله و سه ساله بودند.

جهت انجام آزمایش، پس از استقرار کامل گیاهان و رسیدن آن‌ها به طول متوسط ۵۰ سانتی متر، ۱۲۰ گیاه با ظاهری مشابه انتخاب و به صورت تصادفی به پنج گروه تقسیم شدند. روی گیاهان هر گروه یک شاسی فلزی به طول ۴، عرض ۰/۵ و ارتفاع ۱/۵ متر جهت لامپ‌های LED خطی نصب شد به طوری که فاصله لامپ‌ها تا سطح گیاه ۶۵ سانتی متر باشد. طول موج لامپ‌ها با استفاده از دستگاه طیف سنج مینی (مدل نورا- ۲۰۰، ساخت ایران) اندازه گیری شد. لامپ‌های هر گروه به قسمت زیرین شاسی با فاصله مشخص (بسته به تعداد رشته



Fig. 1: saplings transferred into place (1), suspended chassis installed above the plants (2), 100% red, 100% blue, 70% red + 30% blue and 50% red + 50% blue treatments (3, 4, 5 and 6), control plants at the light exposure time (7), and plants exposed to lights from 4:00 pm (8).

دی ماه به گلخانه منتقل گردیدند و تا زمان استقرار کامل و رسیدن به رشد مناسب جهت شروع اعمال مجدد تنش شوری، به صورت هیدروپونیک مشابه سال اول تغذیه شدند. بعد از آنکه بوته‌ها به ارتفاع حدوداً ۵۰ سانتی متر رسیدند، به مدت سه ماه دیگر (از اول بهمن تا آخر فروردین ماه) با شرایطی مشابه سال اول تحت تیمارهای مختلف نوردی و تنش شوری قرار گرفتند. پس از اتمام تیماردهی، برای اندازه‌گیری میزان اسید آمینه پرولین در برگ از روش باتیس^۱ و همکاران (۱۹۷۳) با کمی تغییر استفاده شد (Bates et al., 1973)، کربوهیدرات‌های محلول کل با استفاده از اتانول و معرف آنترون عصاره‌گیری و در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت گردید (Paquin and Lechaser, 1979). غلظت فنول کل با روش فولین سیکالتیو و با اضافه کردن کربنات سدیم به محلول حاوی عصاره برگ در طول موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد (Tezcan et al., 2009)، سنجش غلظت فلاونوئید کل نیز با اضافه کردن نیتريت سدیم ۵ درصد و کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد و هیدروکسید سدیم به عصاره برگ انجام و در طول موج ۵۱۰ نانومتر قرائت گردید (Li et al., 2006)، محتوی آنتوسیانین با استفاده از محلولی شامل متانول، آب و اسید کلریدریک عصاره‌گیری و در طول موج‌های ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر قرائت شد (Alexieva et al., 2001)، اندازه‌گیری آنزیم کاتالاز با محاسبه کاهش جذب

به منظور جلوگیری از شوک اسمزی، غلظت‌های شوری به تدریج و با نرخ ۳/۶۳ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر در روز شروع شد و تا زمانی که به مقدار مورد نظر هر تیمار برسند، ادامه یافت. برای ممانعت از تجمع یون‌ها و ایجاد سمیت برای گیاه، بوته‌ها به صورت هفتگی با آب لوله‌کشی شهری با هدایت الکتریکی ۰/۵۲۹ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر، آب‌شویی شدند، به طوری که آب از ته گلدان‌ها خارج می‌شد. با به کارگیری سیستم پوشال و پنکه (سیستم‌های سرمادهی) و بخاری (گرمادهی) سعی گردید تا کمترین و بیشترین دمای هوای گلخانه در طول دوره آزمایش به ترتیب بین ۲۵ تا ۳۱ درجه سلسیوس در روز و ۱۶ تا ۱۸ درجه سلسیوس در شب ثابت بماند که بهترین دمای لازم برای فتوسنتز برگ‌های انگور گزارش شده است (Karami et al., 2017b). همچنین میانگین پایین‌ترین و بالاترین رطوبت هوای گلخانه به ترتیب ۲۶ و ۶۵ درصد بود. شدت نور موجود در گلخانه هم در ساعت ۱۲ ظهر با استفاده از لوکس‌متر مورد سنجش قرار گرفت و دامنه‌ای بین ۸۰۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ لوکس در طول دوره آزمایش داشت. بعد از اتمام تیماردهی در سال اول، جهت اندازه‌گیری آنتی اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی از گیاهان نمونه برداری شد. سپس گیاهان به محوطه بیرون از گلخانه به مدت دو ماه (آبان و آذرماه) جهت رفع نیاز سرمایی به صورت طبیعی قرار داده شدند و خزان کردند، پس از طی دوره سرمادهی، اوایل

پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر (Dhindsa et al., 1981) و آنزیم پراکسیداز با استفاده از گایاکل و اندازه گیری میزان جذب تترایاکل تشکیل شده از گایاکل در نتیجه فعالیت آنزیم پراکسیداز در طول موج ۴۷۰ نانومتر انجام گرفت (Plewa et al., 1991)، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نیز با استفاده از مخلوط واکنش شامل بافر فسفات پتاسیم، ال متیونین، نیتروبلوتترازولیوم، ریبوفلاوین و عصاره برگ در طول موج ۵۶۰ نانومتر مورد سنجش قرار گرفت (Giannopolitis and Ries, 1977) و همچنین سنجش پروتئین های محلول در برگ با استفاده از معرف برادفورد و در طول موج ۵۹۵ قرائت و برای بار دوم (Bradford, 1976) تکرار گردیدند.

برای تجزیه داده ها از نرم افزار SAS نسخه ۹/۴ استفاده گردید. اختلاف بین میانگین ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح پنج درصد تعیین و انحراف استاندارد برای هر تیمار محاسبه شد.

۳. نتایج

نتایج تجزیه واریانس داده ها (جدول ۲) نشان داد که اثرات کیفیت نور، تنش شوری و سن نهال و برهمکنش آن ها بر محتوی آنتوسیانین، فنول و فلاونوئیدکل، پرولین، کربوهیدرات های محلول، پروتئین های محلول، آنزیم های کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز در سطح احتمال یک درصد معنی دار شد. علیرغم اینکه ویژگی های یاد شده با بالا رفتن تنش شوری افزایش یافتند، اما روند افزایشی آن ها در نهال های دوساله بیشتر از نهال های سه ساله بود. همچنین تاثیر تیمارهای نور تکمیلی در مقایسه با نور طبیعی گلخانه بر ویژگی های مذکور متفاوت مشاهده شد (شکل های ۲، ۳، ۴).

با توجه به نتایج اثر برهمکنش کیفیت نور، تنش شوری و سن نهال، در شوری شاهد (۱/۶۷ میلی زیمنس بر سانتی متر)، تأثیر کیفیت های نور در افزایش مقدار آنتوسیانین برگ نهال ها

بیشتر از نور طبیعی گلخانه بود، ولی با یکدیگر تفاوت معنی داری نداشتند. با وجود افزایش آنتوسیانین همگام با افزایش تنش شوری، بیشترین درصد افزایش این ترکیب نسبت به نور طبیعی گلخانه (۴۵/۷۱ درصد) در برگ نهال های سه ساله تیمار شده با ترکیب نور قرمز و آبی مساوی مشاهده شد. در رتبه بعدی نور آبی کامل نسبت به نور طبیعی گلخانه با افزایش ۴۰/۳۷ درصدی محتوی آنتوسیانین تحت تنش ۱۰/۲۳ میلی زیمنس بر سانتی متر تاثیر داشت، در حالی که بین سن نهال ها تفاوتی از این نظر مشاهده نشد. همچنین نور قرمز کامل کمترین تأثیر را در افزایش محتوی آنتوسیانین داشت. ضمن اینکه این نتیجه تنها در این تیمار به همراه ترکیب قرمز و آبی (۷۰ و ۳۰ درصد) در نهال های سه ساله بیشتر از نهال های دوساله بود (شکل ۲-۱).

بر اساس نتایج، علیرغم افزایش محتوی فنول کل متناسب با غلظت کلرید سدیم در همه نهال ها، تأثیر کیفیت های نور بر این ویژگی با یکدیگر تفاوت داشت. نورهای تک رنگ به ویژه نور آبی کامل در همه سطوح تنش شوری منجر به افزایش این شاخص شدند، در حالی که ترکیب نورهای قرمز و آبی (۷۰ و ۳۰ و ۵۰ درصد) محتوی فنول کل را در مقایسه با تیمار نور طبیعی گلخانه کاهش دادند.

در تنش ۱۰/۲۳ میلی زیمنس بر سانتی متر، نهال های تیمار شده با نور آبی کامل و بعد از آن نور قرمز کامل به ترتیب به اندازه ۵/۴۸ و ۴/۸۳ درصد بیشتر از نور طبیعی گلخانه در افزایش میزان فنول کل نقش داشتند، در حالی که هر دو ترکیب نور قرمز و آبی در افزایش میزان فنول کل تأثیر کمتری در مقایسه با نور طبیعی گلخانه داشتند. به طور کلی محتوی فنول کل تحت تأثیر کیفیت های مختلف نور در نهال های دوساله در مقایسه با نهال های سه ساله تحت تأثیر کیفیت های مختلف نور بیشتر بود، در حالی که نور طبیعی گلخانه بر هر دو نوع نهال تأثیر یکسانی نشان داد (شکل ۲-۲).

Table 2: The results of the variance analysis of the effect of light quality, salinity stress and sapling age on enzymatic and non-enzymatic antioxidants in grapevine, yaghooti cultivar

Source of variation	df	Mean Square								
		Anthocyanin	Total phenol	Flavonoid	Proline	Carbohydrate	Soluble protein	Catalase	Superoxide dismutase	Peroxidase
Light (A)	4	0.016**	0.039**	0.120**	16.84**	56.86**	16.33**	0.0012**	0.041**	0.0004**
Salinity stress (B)	3	0.135**	0.041**	0.203**	245.2**	245.3**	78.52**	0.0013**	0.228**	0.0026**
Age(C)	1	0.033**	0.072**	0.056**	209.9**	173.06**	148.6**	0.0004**	0.112**	0.0004**
A×B	12	0.031**	0.015**	0.061**	75.14**	53.82**	16.89**	0.0006**	0.048**	0.0007**
A×C	9	0.013**	0.027**	0.060**	107.1**	46.30**	26.15**	0.0006**	0.036**	0.0002*
B×C	7	0.065**	0.028**	0.095**	136.5**	130.1**	56.27**	0.0006**	0.123**	0.0012**
A×B×C	39	0.017**	0.009**	0.031**	45.53**	32.39**	13.37**	0.0003**	0.0309**	0.0004**
Error	80	0.003	0.0002	0.0001	0.38	1.38	0.0008	0.00002	0.00001	0.000002
C.V.	-	0.58	0.38	2.72	8.37	8.34	0.21	0.62	0.604	0.832

** significant at 1% probability

کامل با ۳۲/۳۱ درصد پرولین، کمترین تأثیر را داشت (شکل ۳-۲-۱).

نتایج نشان داد که محتوی کربوهیدرات‌های محلول در برگ همه نهال‌های تیمار شده با کیفیت‌های نور همسو با تنش شوری افزایش یافت و این مقدار در نهال‌های دوساله بیشتر بود. کیفیت‌های نور سطح بالاتری از کربوهیدرات محلول در نهال‌ها را در مقایسه با نور طبیعی گلخانه تولید کردند. در بین انواع نورهای استفاده شده، نور قرمزکامل در کنار شوری شاهد (۱/۶۷) و همچنین شوری ۱۰/۲۳ میلی‌زیمنس برسانتی‌متر، میزان کربوهیدرات‌های محلول در برگ نهال‌های دوساله را به ترتیب معادل ۳۵/۲۲ و ۳۸/۷۳ درصد بیشتر از نور طبیعی گلخانه بالا برد، درحالی‌که اختلاف معنی‌داری بین سایر کیفیت‌های نور از این نظر مشاهده نشد (شکل ۳-۲-۱).

همچنین براساس نتایج، نورهای استفاده شده همسو با تنش شوری منجر به افزایش محتوی پروتئین‌های محلول در برگ همه نهال‌ها شدند. در مقایسه با نور طبیعی گلخانه، این شاخص در همه نهال‌ها به‌ویژه دوساله‌های تیمار شده با کیفیت‌های مختلف نور در حضور شوری شاهد، سطح بالاتری داشت و در بین آن‌ها ترکیب نور قرمز و آبی (۷۰ و ۳۰ درصد) مؤثرتر بود. همین کیفیت نور و در رتبه بعد ترکیب قرمز و آبی مساوی در حضور شوری شدیدتر (۱۰/۲۳ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) نیز معادل ۲۴/۹۴ و ۱۸/۷۳ درصد نسبت به نور طبیعی گلخانه، بیشترین تأثیر را در افزایش این شاخص نشان

همچنین نتایج حاکی از آن بود که کیفیت‌های مختلف نور همسو با افزایش تنش شوری محتوی فلاونوئید را در همه نهال‌ها افزایش داد. کیفیت‌های نور در شوری شاهد نسبت به نور طبیعی گلخانه این شاخص را افزایش دادند، اما بیشترین مقدار مربوط به نور آبی کامل با ۳۶/۷۶ درصد بود. در شوری ۱۰/۲۳ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر، ابتدا نور آبی کامل و در رتبه بعدی ترکیب نور قرمز و آبی با نسبت مساوی ۵۰ درصد به ترتیب معادل ۱۹/۱۱ و ۱۰/۷۷ درصد بیشتر از نور طبیعی گلخانه موجب افزایش و حفظ بیشتر فلاونوئید در مقایسه با دیگر کیفیت‌های نور گردیدند، ضمن اینکه مقدار آن در نهال‌های دوساله ۱/۱۳ برابر بیشتر از نهال‌های سه‌ساله بود (شکل ۳-۲-۱).

براساس نتایج، برهمکنش کیفیت نور، تنش شوری و سن نهال، محتوی پرولین برگ را در برگ متناسب با افزایش غلظت کلریدسديم را افزایش داد. اگرچه در شوری شاهد همه کیفیت‌های نور در مقایسه با نور طبیعی گلخانه به‌طور معنی‌داری منجر به افزایش پرولین شدند، اما در این میان نور قرمز کامل و ترکیب قرمز و آبی (۷۰ و ۳۰ درصد) کمترین تأثیر روی این شاخص را داشتند. علیرغم افزایش میزان پرولین در شوری ۱۰/۲۳ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر، این ویژگی در نهال‌های دوساله تحت نور مساوی قرمز و آبی، ۵۲/۸۳ درصد در مقایسه نور طبیعی گلخانه بیشتر شد، درحالی‌که نور قرمز

دادند. میزان پروتئین‌های محلول برگ در نور طبیعی گلخانه و نهال‌های سه‌ساله افزایش یافت (شکل ۳-F). در کنار شوری شدید در نهال‌های دوساله، ۱/۴ برابر بیشتر از

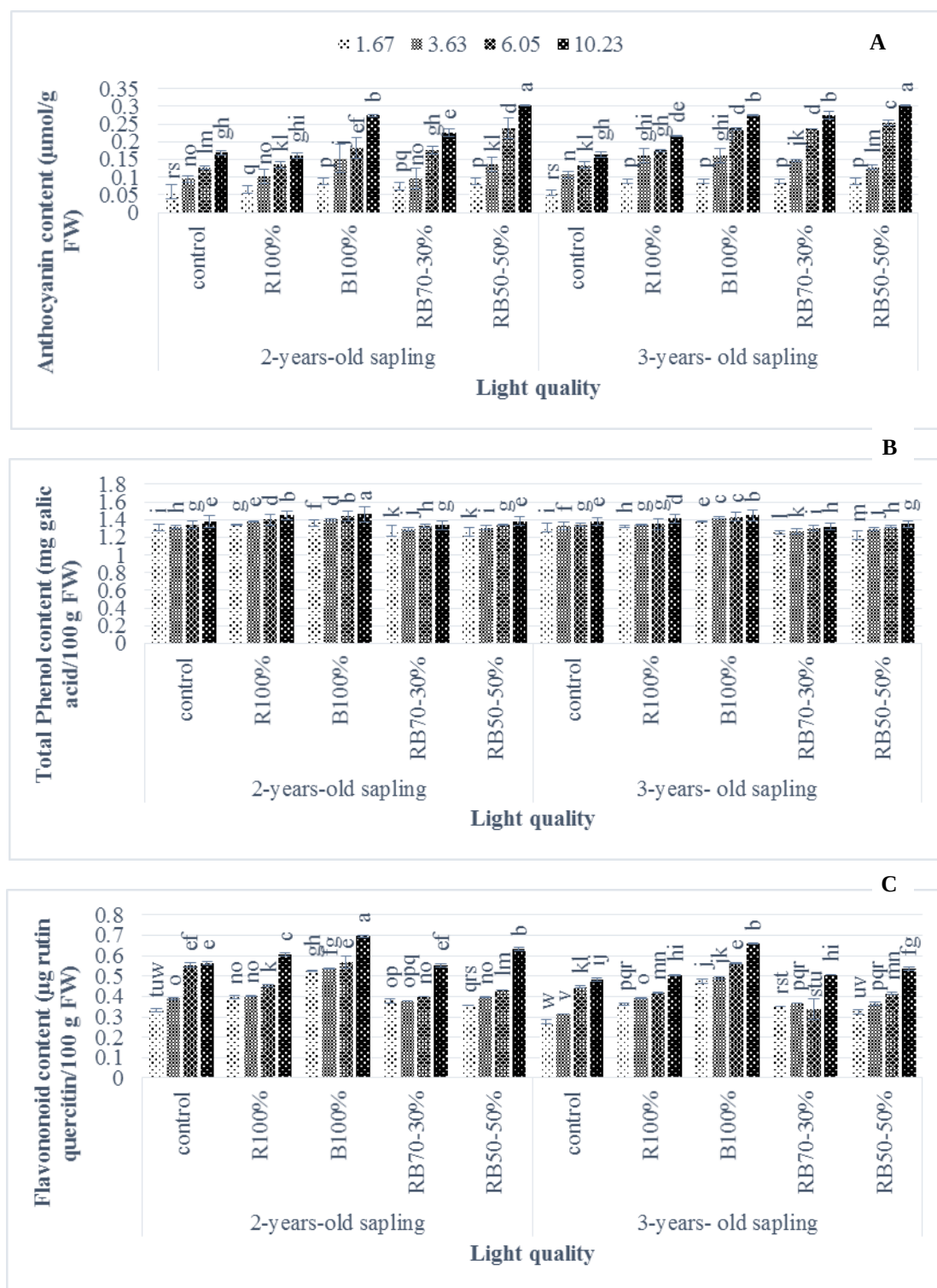


Fig. 2: The interaction effect of light quality, salinity stress and sapling age on Anthocyanin content (A), Total Phenol content (B), Flavonoid content (C) in grape leaves, Red light (R), blue light (B) and the colour of the curves show the electrical conductivity of nutrient solutions. The vertical bars represent the standard deviation (3 replicates).

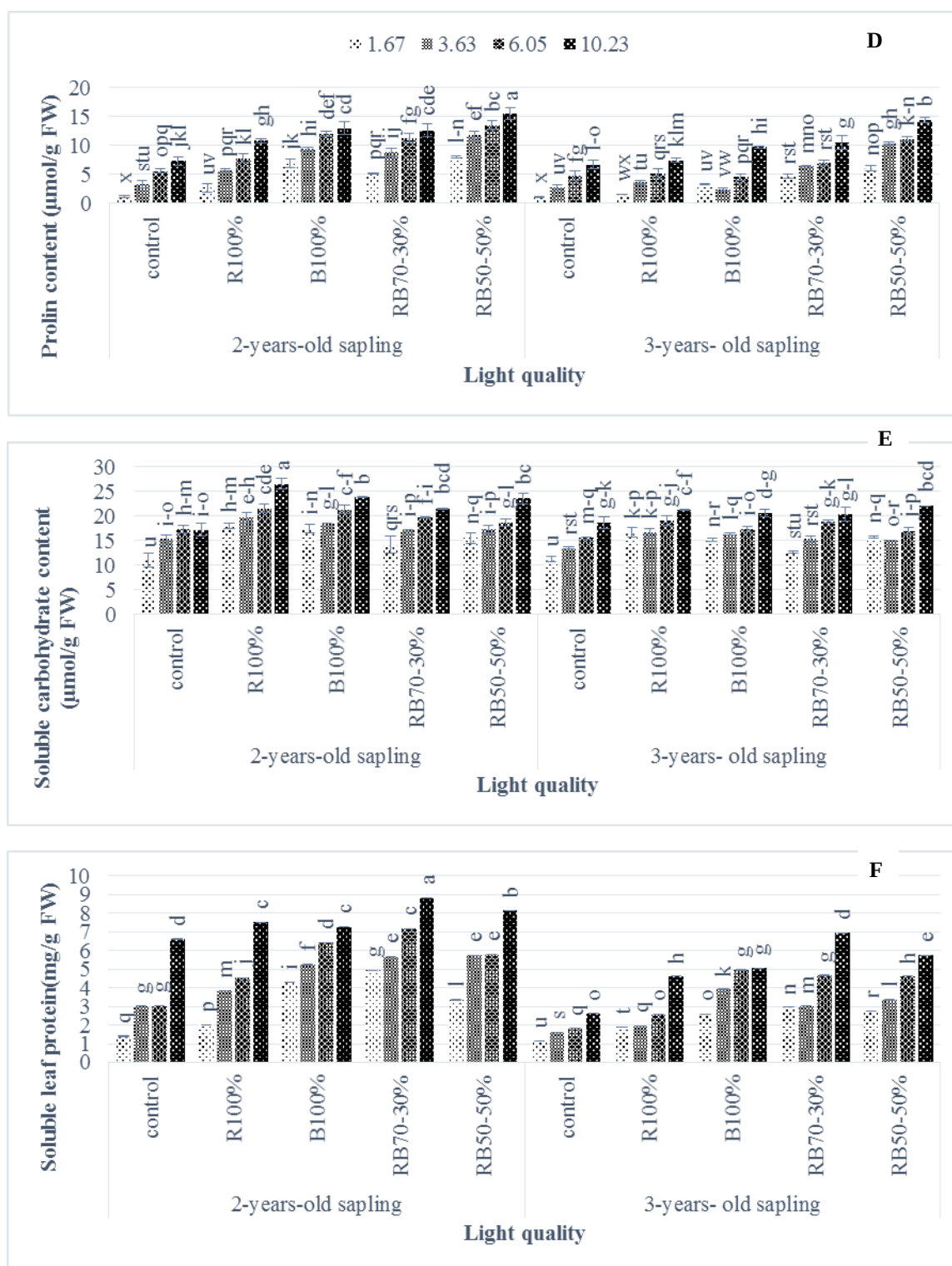


Fig. 3: The interaction effect of light quality, salinity stress and sapling age on Proline content (D), Soluble carbohydrate content (E), Soluble leaf protein (F) in grape leaves, Red light (R), blue light (B) and the colour of the curves show the electrical conductivity of nutrient solutions. The vertical bars represent the standard deviation (3 replicates).

که در نور طبیعی گلخانه و در حضور دو سطح شوری (شاهد و ۱۰/۲۳ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر) بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در هر دو نوع نهال مشاهده شد. با این حال، مقدار

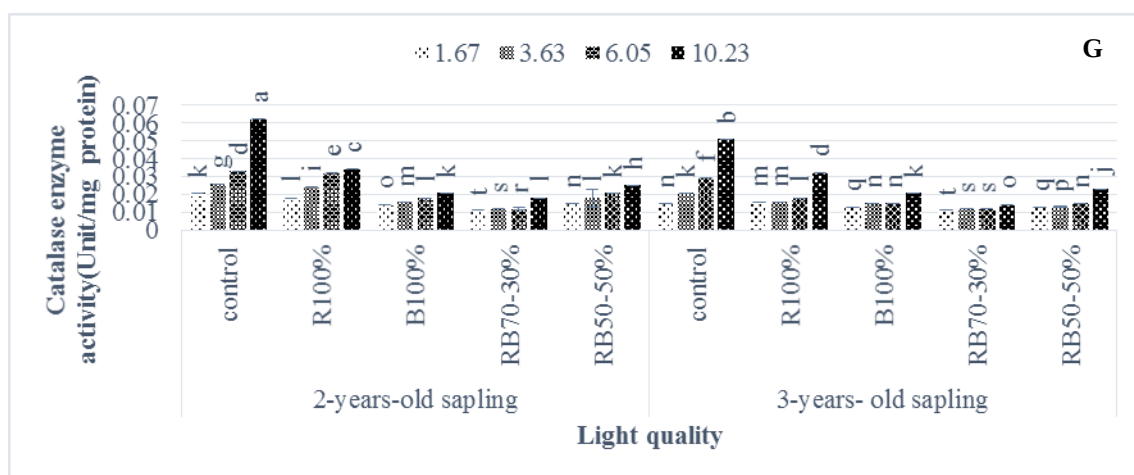
نتایج اثر برهمکنش کیفیت نور، تنش شوری و سن نهال نشان داد که نورهای استفاده شده، برخلاف تنش شوری، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز را در همه نهال‌ها کاهش دادند، به‌طوری-

سوپراکسید دیسموتاز نشان داد، درحالی که نورآبی کامل و ترکیب قرمز و آبی (۷۰ و ۳۰ درصد) کمترین نقش را در افزایش فعالیت این آنزیم در مقایسه با نور طبیعی گلخانه نشان دادند (شکل ۴-هـ).

براساس نتایج، تاثیر کیفیت های نور روی فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز برخلاف تنش شوری کاهشی بود. با وجود افزایش فعالیت این آنزیم در اثر شوری در همه نهال ها، میزان آن در نور طبیعی گلخانه و در سطح ۱۰/۲۳ میلی زیمنس بر سانتی متر، بیشترین مقدار (۷۷/۷۸ درصد نسبت به شاهد شوری) را نشان داد. در بین نورهای به کار برده شده، ترکیب قرمز و آبی (۷۰ و ۳۰) و نورآبی کامل به ترتیب ۵۵/۵۶ و ۵۸/۷۳ درصد کمتر از اثر نور طبیعی گلخانه در افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز تاثیر داشتند. همچنین ترکیب نور قرمز و آبی به نسبت مساوی، کمترین تاثیر (۲۳/۵۲ درصد) را در فعالیت این آنزیم نشان داد، ضمن اینکه در نهال های دوساله در این ویژگی بهتر و ۱/۰۸ برابر بیشتر از نهال های سه ساله ارزیابی شدند (شکل ۴-ل).

فعالیت آنزیم مذکور در نهال های دوساله ۱/۰۶ برابر بیشتر بود. در بین کیفیت های مختلف نور، کمترین تاثیر در افزایش میزان فعالیت آنزیم کاتالاز در نهال های تحت نور قرمز و آبی (۷۰ و ۳۰ درصد) در تمام سطوح تنش شوری وجود داشت و این درحالی بود که نور قرمز کامل در افزایش فعالیت آنزیم فوق تاثیر بیشتری در مقایسه با دیگر کیفیت های نور داشت.

براساس نتایج، اگرچه تنش شوری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را نیز در همه نهال ها افزایش داد، اما اثر نورهای به کار برده شده در مقایسه با اثر نور طبیعی گلخانه در افزایش فعالیت آنزیم کمتر بود، به طوری که بیشترین و کمترین میزان فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز را نهال های رشد یافته تحت نور طبیعی گلخانه به ترتیب معادل ۰/۱۶۲ و ۰/۵۶۵ واحد در میلی گرم پروتئین در سطح ۱/۶۷ (شاهد شوری) و ۱۰/۲۳ میلی زیمنس بر سانتی متر شوری نشان دادند، که در نهال های دوساله ۱/۱۴ برابر بیشتر از نهال های سه ساله بود. در بین نورهای استفاده شده، نور قرمز کامل در تنش ۱۰/۲۳ میلی زیمنس بر سانتی متر، بیشترین تاثیر (۲۱/۷۲ درصد کمتر از نور طبیعی گلخانه) را در افزایش فعالیت آنزیم



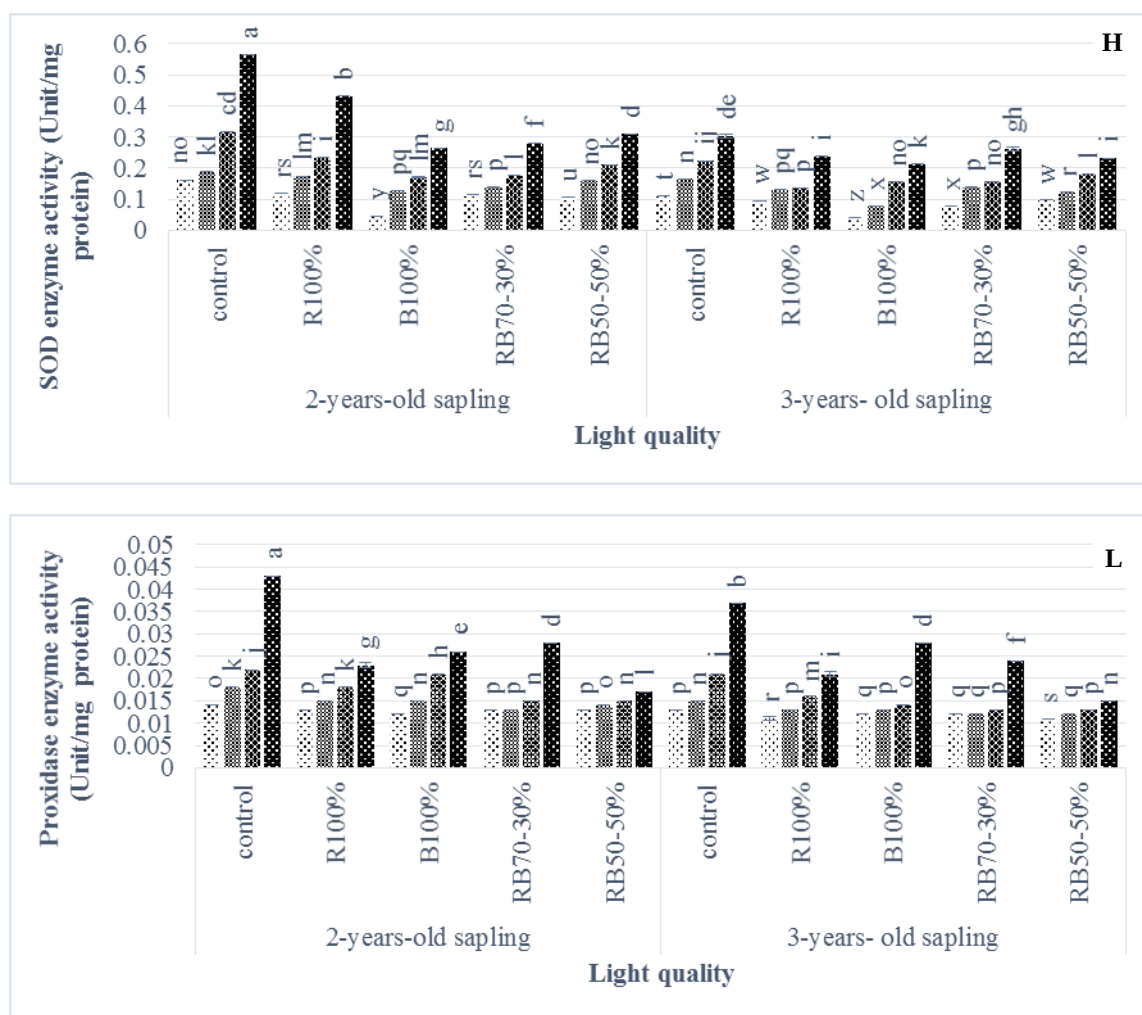


Fig. 4: The interaction effect of light quality, salinity stress and sapling age on Catalase (G), Superoxide dismutase (H), Peroxidase enzyme activity (L) in grape leaves, Red light (R), blue light (B) and the colour of the curves show the electrical conductivity of nutrient solutions. The vertical bars represent the standard deviation (3 replicates).

۵. بحث

غیرآزمیمی) در گیاه، به محض مواجه با تنش شوری اتفاق می افتد (Karimi et al., 2019). در این مطالعه نیز کیفیت نور به افزایش بیشتر غلظت ترکیبات فنولی در شرایط تنش شوری کمک کرد. ترکیب نور قرمز و آبی به نسبت مساوی و نور آبی کامل در افزایش غلظت آنتوسیانین به طور معنی داری مؤثر بود و همچنین نقش نور آبی در مقایسه با نور قرمز در تأثیرگذاری بر این شاخص مهم تر نشان داده شد. به نظر می رسد که نور قرمز در ترکیب قرمز و آبی به نسبت مساوی، اثر نور آبی را در سنتز میزان آنتوسیانین تقویت کرد. این نتیجه با گزارش تأثیر بیشتر نور آبی بر افزایش محتوی آنتوسیانین، فنول کل و فلاونوئید در انگور (Duo et al., 2017) و دانهال های گوجه فرنگی (Son et al., 2017) مطابقت داشت. فیل آلانین آمونیا لاز، چالکون سینتاز و دی هیدرو فلاونول ۴- ریداکتاز به عنوان آنزیم های کلیدی در سنتز آنتوسیانین ها

کیفیت نور یکی از مهم ترین عوامل محیطی مؤثر و کنترل کننده غلظت ترکیبات آنتی اکسیدانی در سلول های گیاهی است (Li et al., 2017). نتایج پژوهش حاضر نیز مؤید این مطلب بود که کاربرد کیفیت های مختلف نور بر تولید بیشتر ترکیباتی که نقش آنتی اکسیدانی دارند تأثیر داشت، که در نتیجه آن، در برابر عوامل مضر حاصل از وقوع تنش در گیاه نقش حفاظتی ایفا می کنند. بنابراین، استفاده از لامپ های ال ای دی برای نوردهی، به ویژه ترکیب نورهای قرمز و آبی می تواند منجر به تحمل بالاتر گیاهان در برابر تنش های محیطی شامل تنش شوری و کمبود آب ناشی از آن شود (Klein et al., 2018). در پژوهش حاضر، محتوی آنتوسیانین، فنول و فلاونوئید کل تحت تأثیر تنش شوری در همه نهال ها افزایش پیدا کرد. تجمع ترکیبات مذکور به عنوان بخشی از سیستم دفاعی

می‌باشند که بیان آن‌ها تحت تأثیر نور آبی افزایش می‌یابند و ممکن است که در نتیجه فعالیت بیشتر آن‌ها، تجمع آنتوسیانین در برگ انگور افزایش یافته باشد (Rodyoung et al., 2015).

به‌طور کلی آنچه مهم به‌نظر می‌رسد نقش مهم نورهای قرمز و آبی در تجمع ترکیبات فنولیک می‌باشد (Ren et al., 2018). نتایج این پژوهش نشان داد که نور آبی کامل منجر به تولید میزان فنول و فلاونوئید بالاتری در نهال‌ها شد و بعد ترکیب نور قرمز و آبی (۵۰ و ۵۰ درصد) تأثیر بیشتری در افزایش فلاونوئید نشان داد. بنابراین می‌توان گفت که کیفیت‌های حاوی نور آبی در بالابردن فعالیت آنتی اکسیدانی در برابر تنش شوری مؤثر بودند. فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها در معرض نورهای قرمز و آبی در بسیاری از گونه‌های گیاهی افزایش یافتند، اما با توجه به تحقیقات، این اثرات وابسته به رقم و کیفیت نور نیز بوده‌اند (Matyasiak and Duo et al., 2017, Kowalski, 2019). همچنین گزارش شده است که در افزایش ترکیبات فنولیک، فلاونوئیدها و ظرفیت آنتی اکسیدانی در کاهو، نور آبی بیشترین تأثیر را در میان نورهای تک‌رنگ داشت. (Matyasiak and Kowalski, 2019). در پژوهش دیگری، تأثیر نور آبی میزان غلظت فنول‌ها را در کاهو به اندازه ۵۲/۷ درصد افزایش داد (Ren et al., 2018). تجمع کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌های محلول و پرولین و توزیع آن‌ها به عنوان بخشی از مواد محلول سازگار در اندام‌های مختلف گیاه، جزء مکانیسم‌های تحمل به تنش شوری هستند (Acosta-Motos et al., 2017).

در بین مواد محلول سازگار که در گیاه سنتز می‌شوند، پرولین نه تنها به‌عنوان یک محافظت‌کننده اسمزی می‌تواند از ساختار ماکرومولکول‌ها محافظت کند، بلکه در سیتوزول نیز به‌عنوان مولکول پیام‌رسان، در فعال کردن مکانیسم‌های سازگاری به تنش نقش ایفا می‌کند (Zarei et al., 2017, Acosta-Motos et al., 2017). پاسخ افزایش تحمل به شوری در گیاهان با بالارفتن محتوی پرولین در ارتباط است (Acosta-Motos et al., 2017). افزایش غلظت پرولین در انجیر (Zarei et al., 2017) و انگور (Shafiei-Zargar and Darabi, 2016) تحت تأثیر تنش شوری نیز گزارش شده است. کیفیت‌های نور استفاده‌شده در این پژوهش، محتوی پرولین را در همه

نهال‌های انگور به طور مؤثر افزایش دادند و در این میان ترکیب نورهای قرمز و آبی بیشترین تأثیر را داشتند.

از دیگر نتایج این مطالعه، افزایش کربوهیدرات‌های محلول همگام با افزایش تنش شوری در برگ نهال‌های انگور بود، به‌طوری‌که مقدار آن در شوری ۱۰/۲۳ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر بیشتر از سطوح دیگر تنش شد. همچنین در این پژوهش کیفیت‌های نور استفاده‌شده میزان کربوهیدرات‌های محلول برگ را در مقایسه با نور طبیعی گلخانه بالاتر بردند. در این راستا، گزارش شده است که کیفیت نور می‌تواند منجر به تقویت تجمع کربوهیدرات‌های محلول در برگ گیاهان شود (Xiaoying et al., 2012). در مطالعه حاضر، نورهای کامل قرمز و آبی در افزایش تجمع کربوهیدرات‌های محلول در برگ نهال‌های انگور تأثیر بیشتری نسبت به ترکیب آن‌ها داشتند و البته تأثیر نور قرمز کامل بیشتر بود که با نتایج گزارشی (Duo et al., 2017) در مرکبات همسو بود. نتایج پژوهش حاضر با مطالعه دیگری (Xiaoying et al., 2012) که در آن اثر نور قرمز بر تجمع کربوهیدرات‌های محلول در برگ دانهال‌های گوجه‌گیلاسی به‌طور معنی‌داری مؤثرتر از دیگر کیفیت‌های نور بوده است مطابقت داشت.

یکی از شاخص‌های مهم در سلول‌های گیاهی، محتوای پروتئین‌های محلول در آن‌هاست که در واقع وضعیت فیزیولوژیکی سلول را در شرایط تنش نشان می‌دهد (Karimi et al., 2019). افزایش این ویژگی در راستای افزایش تنش شوری در این مطالعه در همه نهال‌های انگور رؤیت گردید که با گزارش Mozafari et al., 2018 در انگور هم‌خوانی داشت. براساس نتایج مطالعه حاضر، ترکیب نورهای قرمز و آبی، سنتز و تجمع پروتئین‌های محلول را تحت تأثیر قرار داد و در بین آن کیفیت‌های نور، ترکیب نور قرمز و آبی (۷۰ و ۳۰ درصد) نقش مؤثرتری داشت. در راستای این نتایج، میزان پروتئین‌های محلول نیز در گوجه‌فرنگی (Hio Bain et al., 2014) و تربچه (Zhang et al., 2018) تحت نور قرمز و آبی افزایش یافت که بیشتر از تأثیر نورهای تک‌رنگ قرمز و آبی گزارش شد. به‌طور کلی، ترکیب نورهای قرمز و آبی تأثیر بیشتری در افزایش محتوی پروتئین‌های محلول در برگ انگورهای تیمار شده در گلخانه داشتند. احتمالاً دلیل آن می‌تواند نقش نورهای قرمز و آبی در بیوسنتز محصولات فتوسنتزی باشد. چون این نورها دو

به ترتیب در کاهش و افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در سطوح تنش شوری مؤثرتر بودند.

از نتایج دیگر این پژوهش، نحوه واکنش سن نهال در برابر تنش شوری بود. آنچه که در این مطالعه مشاهده شد مقدار بیشتر ترکیبات فنولی (فنول کل و فلاونوئید)، پرولین، کربوهیدرات، پروتئین‌های محلول و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در برگ نهال‌های دوساله در مقایسه با نهال‌های سه‌ساله بود. به نظر می‌رسد افزایش ترکیبات ذکر شده به‌عنوان مکانیسم‌های دفاعی گیاه در نهال‌های جوان‌تر نشان‌دهنده حساسیت بیشتر این نهال‌ها و همچنین نیاز بیشتر آن‌ها برای مقابله با تنش شوری و ادامه حیات باشد.

۶. نتیجه‌گیری کلی

در مجموع، باتوجه به نتایج این پژوهش، کیفیت‌های نور استفاده شده، برخلاف تأثیر تنش شوری که فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز و سوپراکسیددیسموتاز را افزایش دادند، در کاهش میزان فعالیت آنزیم‌های مذکور مؤثر بودند. همچنین محتوی پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌های محلول، پرولین، آنتوسیانین، فنول و فلاونوئید برگ به‌عنوان آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی در گیاه در راستای تأثیر شوری تحت تأثیر کیفیت‌های مختلف نور، به مقدار بیشتری افزایش یافتند.

به‌طورکلی، با به‌کارگیری نوردهی مصنوعی با کیفیت‌های مختلف به ویژه ترکیب قرمز و آبی (۷۰ و ۳۰ درصد) می‌توان با بهبود شرایط نوری و تنظیم مؤثر سطح ترکیبات مفید، شرایط بهینه را برای رشد انگور یاقوتی در گلخانه فراهم کرد. به‌نظر می‌رسد با افزایش غلظت آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی به اندازه مطلوب، افزایش بیشتر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی توسط گیاه ضرورت نداشته است؛ بنابراین استفاده از نورهای قرمز و آبی و به‌همراه مدیریت سهم هر کدام از آن‌ها در یک ترکیب به‌وسیله لامپ‌های ال‌ای‌دی می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی عمومی، برای افزایش ترکیبات مفید و همچنین بالا بردن تحمل به تنش‌ها در گیاهان پرورش یافته در گلخانه به‌کار گرفته شوند.

نور اصلی در عملکرد دستگاه فتوسنتزی هستند که در نهایت می‌توانند در تولید پروتئین‌ها و یا در جلوگیری از تجزیه آن‌ها نقش مؤثری ایفا کنند (Hio Bain et al., 2014).

از دیگر نتایج این پژوهش افزایش میزان فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مثل کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز در شرایط تنش شوری بود به‌طوری‌که بیشترین میزان فعالیت آنزیم‌های مذکور در تنش ۱۰/۲۳ میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر مشاهده شد. بسیاری از محققین بر افزایش فعالیت آنزیم‌ها در راستای غلظت کلریدسديم در ارقام مختلف انگور اتفاق‌نظر دارند، (Mozafari et al., 2018, Azami et al., 2018,) (Abedini and Habibi, 2017) این محققین دلیل این پدیده را این‌گونه بیان کردند که گیاهان می‌توانند سطح گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن را از طریق افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کنترل کنند که به مکانیسم دفاعی آنزیمی معروف می‌باشد (Ren et al., 2018). بنابراین افزایش فعالیت آنزیم‌های فوق از آن‌جهت بوده است که این ترکیبات به‌عنوان اسمولیت‌های سازگاری و آنزیم‌های نابودکننده رادیکال‌های آزاد اکسیژن، نه تنها از ماکرومولکول‌ها و غشاءهای سلول محافظت می‌کنند، بلکه می‌توانند مانع از آسیب‌های ناشی از گونه‌های واکنش‌گر اکسیژن شده و یا آن‌ها را خنثی کنند (Mozafari et al., 2018, Karimi et al., 2019;)

در مطالعه حاضر، برخلاف اثر افزایشی تنش شوری بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، کیفیت‌های نور استفاده‌شده، میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، سوپراکسیددیسموتاز و پراکسیداز را در مقایسه با نور طبیعی گلخانه کاهش دادند. گزارش شده است که فعالیت اندک آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی می‌تواند نشان‌دهنده شرایط نرمال محیطی جهت رشد گیاه محسوب شود (Karimi et al., 2019)، بنابراین ممکن است که استفاده از کیفیت‌های نور تا حدودی منجر به بهبود شرایط مطلوب گیاه شده باشند. در بین کیفیت‌های نور استفاده شده، ترکیب نور قرمز و آبی با نسبت ۷۰ و ۳۰ درصد در کاهش فعالیت آنزیم کاتالاز و سوپراکسیددیسموتاز در مقایسه با دیگر کیفیت‌های نور نقش مؤثرتری نشان داد درحالی‌که نور قرمزکامل در افزایش فعالیت آنزیم‌های مذکور ایفای نقش کرد. و همچنین ترکیب مساوی نور قرمز و آبی و نورآبی کامل

- Abedini, M. and Habibi C. G. (2017). The effect of salicylic acid on some physiological and biochemical characteristics of grape (*Qezel Ozum* L.) under saline and non-saline conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 19(6): 218-207. (In Persian). <https://dori.net/dor/20.1001.1.23222727.1396.6.19.20.8>
- Acotsa-Motos, J. R., Ortuno, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J. and Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: adaptive mechanisms. A review. *Agronomy*, 7(18): 1-38. <https://doi.org/10.3390/agronomy7010018>
- Alexieva, V., Sergiev, I. Mapelli, S. and 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. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00778.x>
- Azami, M. A., Zahedi, S. M. and Fahdi, H.N. (2018). Evaluation of the tolerance of some commercial grape cultivars (*Vitis vinifera* L.) to salinity stress. *Iranian Journal of Horticultural Sciences and Technologies*, 19(1): 53-62. (In Persian). <http://journal-irshs.ir/article-1-234-fa.html>
- Bates, L. S., Waldren, R. P. and Teare, T.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress. *Plant Soil*, 39: 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding". *Analytical Biochemistry*, 72(1-2): 248-254. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
- Dhindsa, R. A., Plumb, D. P. and Thorpe, T. A. (1981). Leaf senescence: correlated with increased permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of uperoxide dismutase and catalase. *Journal Experimental Botany*. 126:93-101. <https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93>
- Dou, H., Niu, G., Gu, M. and Masabni, J.G. (2017). Effect of light quality on growth and phytonutrient accumulation of herbs under control LED environments. *Horticulturae*, 36(3): 1-11. <https://doi.org/10.3390/horticulturae3020036>
- Garajian, M and Eshghi, S. (2012). Investigation of cold requirement of commercial grape varieties of Fars province. *Journal of Horticultural Sciences - Agricultural Sciences and Industries*, 26(4): 101-109. (In Persian). <https://civilica.com/doc/1468201>
- Giannopolitis, C. and Ries, S. (1977). Superoxide Dismutase. I. Occurrence in Higher Plants. *Plant Physiology*, 59: 309-314. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>
- Gonzalez, C. V., Jerez, D. N., Jofre, M. F., Guevara, A., Prieto, J., Mazza, G., Williams, L. E. and Giordano, G. V. (2019). Blue light attenuation mediates morphological and architectural acclimation of *Vitis vinifera* cv. Malbec to shade and increases light capture. *Environmental and Experimental Botany*, 157: 112-120. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.09.023>
- Hua Bain, Z., Yang, Q. C. and Liu, W. K. (2014). Effect of light quality on the accumulation of phytochemicals in vegetables produced in control LED environments. Review. *Journal of Science Food Agricultural*, 95: 869-877. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6789>
- Javid, S. A., Shahzad, S. M., Ashraf, M., Kausar, R., Arif, M. S., Albasher, Q., Rizvand, H. and Shakoar, A. (2020). Interaction effect of different salinity sources and their formulations on plant growth, ionic homeostasis and seed quality of maize. *Chemosphere*, 132: 678-685. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132678>
- Karmi, M. J., Eshghi, S. and Tafzali, I. (2017a). Gas exchange and chlorophyll fluorescence of ruby grape leaves under heat stress conditions in greenhouse and vineyard. *Journal of Horticultural Sciences and Techniques of Iran*, 18(3): 237-250. (In Persian). <http://journal-irshs.ir/article-1-278-fa.html>
- Karimi, R., Mirzaei, F. and Rasouli, Musa. (2017b). Phenolic acids, flavonoids, antioxidant capacity and mineral elements of five grape cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Sciences and Technologies*, 18(1): 89-102. (In Persian). <http://journal-irshs.ir/article-1-228-fa.html>
- Karimi, R., Mohammadparast, B. and Minazadeh, R. (2019). Phytochemical responses and antioxidant activity of potassium-treated grapevines under salt stress conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 8(32): 245-260. (In Persian). <http://jispp.iut.ac.ir/article-1-1008-fa.html>
- Keshavarzi, M. (2024). Effects of light quality on growth, physiological and biochemical characteristics of grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Yaghooti) saplings under salinity stress in greenhouse. Thesis of PhD in Horticulture, Field of Production and Postharvest Physiology of Horticultural Plants, Bu-Ali Sina University, Hamedan, 284 pages. (In Persian)
- Kim, H. J., Yang, T., Choi, S., Wang, Y. J., Yang Lin, M. and Liceaga, A. M. (2019). Supplemental intracanopy far-red radiation to red LED light improves fruit quality attributes of greenhouse tomatoes. *Sciencedirect*. 1-40. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108985>
- Klein, S., Fiebig, A., Noga, G. and Hunsche, M. (2018). Influence of light quality on leaf physiology of sweet pepper plants grown under drought. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 52: 532-545. <https://doi.org/10.1007/s40626-018-0122-5>
- Li, C. X., Chang, S. X., Ur-Rehman, M. K., Xu, Z. G. and Tao, J.M. (2017). Effect of irradiating the leaf abaxial surface with supplemental light-emitting diode lights on grape photosynthesis. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 14: 1-8. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12267>

- Li, Y., Guo, C., Yang, J., Wei, J., Xu, J. and Cheng, S. (2006). Evaluation of antioxidant properties of pomegranate peel extract in comparison with pomegranate pulp extract. *Journal Forainter Research*, 17: 58-67. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.02.033>
- Liu, X. Y., Chang, T.T., Guo, S. R., Xu, Z. G. and Li, J. (2011). Effect of different light quality of LED on growth and photosynthetic character in cherry tomato seedling. *Acta Horticulturae*, 907: 325-330. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.53>
- Matyasiak, B. and Kowalski, A. (2019). White, blue and red lighting on growth, morphology and accumulation of flavonoid compounds in leafy greens. *Zemdirbyste Agriculture*, 106(3): 281-286. <https://doi.org/10.13080/z-a.2019.106.036>
- Mozafari, A., Ghdakchi asl, A. and Ghaderi, N. (2018). Grape response to salinity stress and role of iron nanoparticle and potassium silicate to mitigate salt induced damage under in vitro conditions. *Physiological Molecular Biological Plants*, 24(1): 25-35. <https://doi.org/10.1139/b79-233>
- Nikouee, E., Mollashahi, M., Moshki, A. R. and Javanmiripour, M. (2024). Studying the effects of drought stress on growth and morphological characteristics *Elaeagnus angustifolia* L. seedlings. *Journal of Arid Biome*, 14(1): 35-45. (In persian).
- Paquin, R. and Lechasseur, P. (1979). Observations sur une méthode de dosage de la proline libre dans les extraits de plantes. *Canadian Journal of Botany*, 57(18): 1851-1854. <https://doi.org/10.1139/b79-233>
- Pileh, F. and Ghasemzadeh, R. (2017). Diversity evaluation of biochemical parameters and antioxidant activity in some commercial grape cultivars. *Research in Pomology*, 2(1): 45-60. (In Persian)
- Pinho, P., Jokinen, K. and Halonen, L. (2012). Horticultural lighting-resent and future challenges. *Lighting Research and Technology*, 44: 427-437. <https://doi.org/10.1177/1477153511424986>
- Plewa, M. J., Smith, S. R. and Wanger, E. D. (1991). Diethyldithiocarbamate Suppresses the Plant Activation of Aromatic Amines into Mutagens by Inhibiting Tobacco Cell Peroxidase. *Mutant Ressearch*, 247:57-64. [https://doi.org/10.1016/0027-5107\(91\)90033-K](https://doi.org/10.1016/0027-5107(91)90033-K)
- Rezazadeh-Bari, R., Ghalandari, A., Darvishzadeh, R., Torabi Gigluo, M. and Doulati Baneh, H. (2021). Comparison of phenolic compounds and antioxidant activity of two grapevine root cultivars Rasha and Qzel Ozum. *Iranian Journal of Food Science and Technology*, 18(111), 1-12. (In Persian) <https://doi.org/10.52547/fsct.18.111.1>
- Ren, X., Liu, Y., Jeong, H.K and Jeong, B.R. (2018). Supplementary light source affects the growth and development of *Codonopsis lanceolata* seedlings. *Molecular Sciences*, 19: 1-19. <https://doi.org/10.3390/ijms19103074>
- Rodyoung, A., Masuda, Y., Tomiyama, H., Asito, T., okawa, K., Ohara, H. and Kondo, S. (2015). Effect of light emitting diode irradiation at night on abscisic acid metabolism and anthocyanin synthesis in grapes in different growing seasons. *Plant Growth Regulators*, 79: 39-46. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0107-1>
- Shao, M., Liu, W., Zha, L., Zhou, C., Zhang, Y and Li, B. (2020). Differential effects of high light duration on growth, nutritional quality, and oxidative stress of hydroponic lettuce under red and blue LED irradiation. *Scientia Horticulturae*, 268: 54-68. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109366>
- Shafiei-Zargar, A. and Darabi, S. (2016). Response of seed and cutting grapes to salt stress. First National Symposium on Small Fruits. Shahrivar, Bu-Ali Sina University, 315-320. (In persian). <https://doi.org/10.29252/aridbiom.2024.21510.2009>
- Shuai, W., Xiaodi, W., Xiangbin, S., Baoling, W., Xiaocui, Z., Haibo, W and Fengzhi, L. (2016). Red and blue lights significantly affect photosynthetic properties and ultrastructure of mesophyll cells in senescing grape leaves. *Horticultural Plant Journal*, 2(2): 82-90. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2016.03.001>
- Son, K.H., Lee, J.I., Oh, Y., Kim, D and Oh, M.M. (2017). Growth and bioactive compound synthesis in cultivated lettuce subject to light-quality changes. *Horticultural Science*, 52(4): 584-591. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI11592-16>
- Sohrabi, S. and Ebadi, A. (2015). Investigation of the expression of some genes related to tolerance to salt stress in a number of grape candidate cultivars (*Vitis vinifera*). Master' of Science thesis, University of Tehran). (In Persian)
- Stevens, R.M. and Walker, R.R. (2012). Response of grapevines to irrigation-induced saline-sodic soil conditions. *Animal Production Science*. 42(1): 323-331. <https://doi.org/10.1071/EA00143>
- Taulavuori, K., Pyysalo, A., Taulavuori, E. and Julkunen-Tiitto, R. (2018). Responses of phenolic acid and flavonoid synthesis to blue and blue-violet light depends on plant species. *Environmental and Experimental Botany*, 150: 173-187. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.03.016>
- Tezcan, F., Gultekin-Ozguven, M., Diken, T., Ozcelik, B. and Erim, F. B. (2009). Antioxidant activity and total phenolic, organic acid and sugar content in commercial pomegranate juices. *Food Chemistry*, 115(3): 873-877. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.103>
- Warner, R., Wu, B. S., Macpherson, S. and Lefsrud, M. (2021). A review of strawberry photobiology and fruit flavonoids in control LED environments. *Plant Science*. 12: 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.611893>
- Xiaoying, L., Shirong, G., Taotao, C., Zhigang, X and Tezuka, T. (2012). Regulation of the growth and photosynthesis of cherry tomato seedlings by different light irradiations of light emitting diodes (LED). *African Journal of Biotechnology*, 11(22): 6169-6177. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1191>
- Zarei, M., Azizi, M., Rahmi, M., Tehranifar, A. and Davrpanah, S. (2016). Effect of salinity stress on some physiological and biochemical responses of four fig (*Ficus carica* L.) hybrids. *Iranian Journal of Horticultural Sciences and Techniques*, 18(2): 143-158. (In persian)

Zhang, Y., Jiang, L., Li, Y., Chen, Q., Ye, Y., Zhang, Y., Luo, Y., Sun, B., Wang, X and Tang, H. (2018). Effect of Red and Blue light on anthocyanin accumulation and differential gene expression in strawberry (*Fragaria × ananassa*). *Molecules*, 23: 1-17. <https://doi.org/10.3390/molecules23040820>