گیاه و زیست فناوری ایران
Iranian Journal of Plant & Biotechnology (IJPB)

مقاله پژوهشی

پاسخ فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برخی ارقام انگور به تنش خشکی (*Vitis vinifera* L.)

مجتبی قلی‌زاده[۱]، علی عبادی[۲]، مهدی حدادی‌نژاد*[۳]، علی محمدی‌ترکاشوند[٤]

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغی و زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، gholizadeh1352@gmail.com

۲- استاد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه تهران، کرج، ایران،aebadi@ut.ac.ir

۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، m.hadadinejad@sanru.ac.ir

٤- استاد، گروه علوم باغی و زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، m.torkashvand54@yahoo.com

تاریخ دریافت: اسفند ۱٤۰۲ تاریخ پذیرش: خرداد

Physiological and biochemical response of some grape cultivars (*Vitis vinifera* L.) to drought stress

Mojtaba Gholizadeh[1], Ali Ebadi[2], Mehdi Hadadinezhad*[3], Ali Mohamadi Torkashvand[4]

1- Ph.D Student, Department of Horticultural and Agricultural Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, gholizadeh1352@gmail.com

2- Professor, Department of Horticultural Science, University of Tehran, Karaj, Iran, aebadi@ut.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Horticultural Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, m.hadadinejad@sanru.ac.ir

4- Professor, Department of Horticultural and Agricultural Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, m.torkashvand54@yahoo.com

Received: March 2024 Accepted: June 2024

چکیده

به‌منظور بررسی تاثیر تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی شش رقم انگور آزمایشی فاکتوریل بر پایهٔ طرح کاملا تصادفی با سه تکرار تحت شرایط گلخانه‌ای اجرا شد. در این آزمایش، تیمارها شامل شش رقم انگور (عسگری، خلیلی، یاقوتی، پیکامی، ترکمن ٤ و سوزک) و چهار سطح تنش خشکی (شرایط نرمال (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه)، تنش کم (۷۵ درصد ظرفیت مزرعه)، تنش متوسط (۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) و تیمار تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت مزرعه)) بودند. نتایج نشان داد که صفاتی فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی با افزایش شدت تنش، به‌طور معنی‌داری افزایش یافتند. درمقابل، صفات محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشاء، میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای فنول کل با افزایش شدت تنش، به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند. در میان ارقام مورد مطالعه، رقم یاقوتی از حیث شاخص‌های مورد مطالعه نسبت به سایر ارقام انگور، مقاومت بیشتری نسبت به خشکی نشان داد. با توجه به نتایج این پژوهش به‌نظر می‌رسد که رقم یاقوتی نسبت به ارقام دیگر به خشکی متحمل‌تر است. ولی از آنجا که این تحمل ناشی از مکانیزم‌های فعال در برگ می‌باشد، لازم است در زمان استفاده از این رقم به عنوان پایه آزمایش‌های تکمیلی انجام شود.

کلمات کلیدی: پایداری غشاء، رنگیزه‌های فتوسنتزی، فنل، محتوای نسبی آب برگ

فصلنامه گیاه و زیست فناوری ایران
سال ۱٤۰۳، دوره ۱۹، شماره ۱، صص ۱۱-۱

Abstract

In order to investigate the effect of drought stress on the physiological and biochemical traits of six grape cultivars, a factorial experiment was conducted based on a completely randomized design with three replications under greenhouse conditions. In this experiment, the treatments included six Khorasani and shirazi grape varieties (Askari, Khalili, Yaquti, Pikami, Turkmen 4 and Suzak) and four levels of drought stress (normal conditions (100% of the farm capacity), low stress (75% of the farm capacity), medium stress (50% of farm capacity) and severe stress treatment (25% of farm capacity). The results showed that physiological and biochemical traits increased significantly with increasing stress intensity. On the other hand, the traits of relative leaf water content, membrane stability index, amount of photosynthetic pigments, and total phenol content decreased significantly with increasing stress intensity. Among the cultivars studied, the Yaqouti cultivar showed more resistance to drought than other grape cultivars in terms of the studied indices. According to the results of this research, it seems that Yaghuti cultivar is more drought tolerant than other cultivars. Since this tolerance located in leaf via active mechanisms, it is necessary to carry out additional tests when using Yaghuti as rootstock for scion of grapevine.

Key words: Membrane Stability, Photosynthetic pigment, Phenol, Relative leaf water content

Iranian Journal of Plant & Biotechnology
Spring 2024, Vol 19, No 1, Pp 1-11

مقدمه و کلیات

انگور با نام علمی *Vitis vinifera* L. و از خانواده‌ی انگوسانان است. در این خانواده، ۱۷جنس و ۱۰۰۰ گونه وجود دارد که مهم‌ترین جنس این خانواده نیز جنس *Vitis* می‌باشد (Keller, 2010). براساس اطلاعات برگرفته از آمارنامه‌ی محصولات باغبانی سال ۱٤۰۰، کشت انگور، پس از پسته در جایگاه دومین محصول با سطح کشت بالا قرار گرفته است که سهم زیادی در صادرات غیرنفتی کشور ایفا می‌کند. سطح تاکستان‌های باور کشور ۲۸۲۷۳۸ هکتار (۲۱۸۲٦۳ هکتار آبی و ٦٤٤۷٥ هکتار دیم) و تولیدی معادی ۳۳۸۹۸۲۷ تن (۳۱٤۱۸۳۷ تن آبی و ۲٤۷۹۹۰ تن دیم) می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱٤۰۰). بنابراین، انگور از جایگاه برجسته‌ای در اقتصاد کشاورزی ایران برخوردار است. با این حال، قابلیت دسترسی به آب مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید این محصول در کشور است (اسدی وهمکاران، ۱۳۹٦). از میان تنش‌های محیطی، خشکی دومین عامل اصلی کاهش عملکرد انگور بعد از عوامل بیماری زا می‌باشد (مهری وهمکاران، ۱۳۹۳). عامل‌های محدودکننده‌ای همچون تنش خشکی که ناشی از شرایط تغییر اقلیم بوده از چالش‌های مهم باغبانی است و تلاش برای رویارویی و ارائه راه حل مناسب برای آن حائز اهمیت است (Beis and Patakas, 2015). تنش خشکی باعث بروز مشکلاتی مانند کاهش گل‌انگیزی، پیری فیزیولوژیک، کوتاه شدن دوره رشد و در نهایت باعث افت عملکرد و از بین رفتن بوته‌های انگور می‌شود (Bertamini *et al*., 2006). همچنین، خشکی سبب کاهش پتانسیل آب گیاه، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش در میزان تعرق و فتوسنتز، تخریب پروتئین و دیگر خسارات ساختاری و تنظیمی میشود (Cooley *et al*., 2017). انگور از مکانیزم‌های بیوشیمیایی-فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی برخودار است که آن را قادر به حفظ رشد و تولید در شرایط عادی و کمبود آب می‌کند (طلایی و همکاران، ۱۳۹۰). این گیاه به دلیل داشتن آوندهای چوبی به نسبت بزرگ در مقایسه با سایر گیاهان به‌عنوان گیاه نسبتا متحمل به خشکی در نظر گرفته می‌شوند و این امر تا حدی است که اجازه بهبود سریع بوته‌ها را پس از محدودیت‌های آبی فراهم می‌کند (Hajiahmad, 2019). هر چند انگور از لحاظ تحمل به کم آبی، گونه‌ی متحملی به شمار می‌آید اما تنش شدید ممکن است تأثیر قابل توجهی روی خصوصیات کیفی میوه دیگر محصول داشته باشد. خشکی شدید ممکن است منجر به کاهش عملکرد و اختلال در کیفیت حبه‌های انگور شود (Jalili Marandi *et al*., 2011). در نتیجه‌ی بروز تنش خشکی، کاهش رشد در همه‌ی ابعاد گیاه رخ می‌دهد. تاکنون، سازوکارهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مختلفی توسط محققان به منظور بررسی پاسخ ارقام انگور به خشکی مورد استفاده قرار گرفته اند. برای مثال، Sorori و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که سازگاری گیاه انگور به تنش خشکی نتیجه تغییرات در بسیاری از مکانیسم های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی است که باعث تغییر در میزان نشت الکترولیت، RWC برگ، محتوای پرولین، مواد جامد محلول و سرعت فتوسنتز می‌شود. رقم سفید بدون دانه دارای بیشترین RWC برگ، محتوای

کلروفیل نسبی، محتوای کاروتنوئید و کمترین نشت الکترولیت بود. همچنین رقم گرمه با بیشترین میزان کلروفیل a و b از مقاوم‌ترین ارقام است. قادری و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای بر روی ارقام انگور نشان دادند که محتوای آب نسبی همگام با افت بیشتر آب در خاک، به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. همچنین، آنها نشان دادند که کاهش محتوای نسبی آب در اثر تنش خشکی باعث القاء تغییرات در خاصیت نفوذپذیری انتخابی در غشای سلولی می‌شود که متعاقباً باعث افزایش در نشت الکترولیت‌ها می‌گردد (قادری و همکاران، ۱۳۸۹). همچنین، اسدی و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای بر روی پاسخ ارقام انگور به خشکی نشان دادند که رقم مقاوم‌تر به خشکی از شاخص پایداری غشا بیشتری نسبت به ارقام حساس دارد و لذا در برابر گونه‌های فعال اکسیژن و بتاکسیداسیون اسیدهای چرب متحمل‌تر است. مهری و همکاران (۱۳۹۳) نشان دادند که سطح قندهای محلول در ژنوتیپ‌های مقاوم‌تر بیشتر است که این پدیده می‌تواند ریشه در تغییر بیان فاکتورهای رونویسی داشته باشد که بیان ژن‌های درگیر در بیوسنتز قندهای محلول را کنترل می‌کنند. همچنین، آنها اظهار داشتند که قندهای محلول به‌عنوان یک پیام متابولیکی عمل می‌کنند و موجب افزایش بیان ژن‌های مربوط به دفاع گیاه می‌شوند. با توجه به آنچه گفته شد، اتخاذ رویکردهای مختلف به‌منظور استفاده صحیح و بهینه از منابع آب و همچنین شناخت روابط آب در مراحل مختلف رشد، به همراه بررسی اثرات کمبود آب بر واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیک گیاه، از لحاظ سازوکارهای مقاومت، تحمل و سازگاری در رأس تحقیقات انگور قرار دارد. لذا هدف از این پژوهش، بررسی تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ژنوتیپ‌های کاندید انگور در تنش ملایم، متوسط و شدید به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل‌تر به خشکی است به‌طوری که بتوان در برنامه‌های آینده بهنژادی از آن‌ها بهره جست.

فرآیند پژوهش

این پژوهش در خراسان شمالی، شهرستان اسفراین (طول جغرافیایی ٥٦، عرض جغرافیایی ٣٦، ارتفاع از سطح دریا ١٢٦٠ متر) در محیط گلخانه با میانگین دمای ٢٧-٣٠ درجه سانتی‌گراد، انجام گرفت. مواد گیاهی شامل (عسگری، خلیلی، یاقوتی، پیکامی، ترکمن ٤ و سوزک) از شرکت کشت و صنعت جوین تهیه و سپس به صورت نهال‌های ریشه‌دار یکساله، در گلدان‌هایی به قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر قرار گرفتند. برای کشت ارقام، مخلوطی از خاک‌های رس، ماسه و ماده آلی به ترتیب با نسبت ۱:۱:۲ تهیه شدند. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در فصل تابستان سال ۹۸-۹۹ انجام شد. این مطالعه شامل چهار تیمار آبیاری کامل (رطوبت خاک در حد ظرفیت مزرعه)، تنش کم (رطوبت خاک در حد ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه)، تنش متوسط (رطوبت خاک در حد ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) و تنش شدید (رطوبت خاک در حد ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه) با سه تکرار و در هر تکرار سه واحد آزمایشی (گلدان۳۰ در ۵۰) اجرا شد. تنش رطوبتی به‌وسیله وزن کردن روزانه گلدان‌ها اعمال شد. به‌طوری که رطوبت گلدان‌های حاوی

تیمار تنش کم در حد ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه، تنش متوسط در حدود ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه و تیمار تنش شدید، ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه حفظ شد. همچنین، درصد رطوبت در گلدان‌های بدون تنش در حد ظرفیت مزرعه حفظ شد. قابل ذکر است که برای بدست آوردن میزان آب لازم برای رسیدن به حد ظرفیت مزرعه از رابطه زیر استفاده می‌گردد (Jalili Marandi *et al*., 2011):

۱۰۰* وزن خاک خشک شده در آون / (وزن خاک خشک شده در آون– وزن خاک در ظرفیت مزرعه)

در این آزمایش به‌منظور خارج کردن اثر افزایشی وزن گیاه و کاهش خطا در تنظیم مقدار آب خاک به‌روش وزنی، از گلدان‌های فاقد گیاه که فقط حاوی خاک آزمایش و هم وزن با گلدان‌های اصلی هستند، استفاده شد تا اختلاف وزنی گلدان‌های فاقد گیاه و حاوی گیاه، مقدار اثر وزن گیاه را از آزمایش خارج کند و مقدار تنظیم رطوبت خاک گلدان‌ها بر اساس روش وزنی باشد. جهت اندازه گیری RWC، از نمونه‌های برگی ۵ قطعه تهیه و سریعاً وزن تازه آنها تعیین شد. در ادامه، تکه‌های برگ داخل آب مقطر به‌مدت ۲–۳ ساعت شناور شد. پس از این مدت، تکه‌های برگ از آب مقطر خارج و سطح آنها به آرامی به‌وسیله دستمال کاغذی خشک و سریعاً وزن آماس آنها تعیین شد. بعد از آن، نمونه‌ها به‌مدت ٢٤ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شده و وزن خشک آنها گرفته شد (Sheng *et al*., 2010). بر اساس فرمول زیر، RWC برگ محاسبه شد:

$$(\%)\ RWC = [(WF - WD) / (WT - WD)] \times 100$$

که در آن، WD وزن خشک، WF وزن تر و WT وزن تورژسانس برگ است.

شاخص پایداری غشاء به‌وسیله اندازه‌گیری هدایت الکتریکی عصاره نشت شده از برگ‌ها و بر پایه‌ی روش توصیف شده توسط Galmes و همکاران (۲۰۱۰) محاسبه شد. به‌طور خلاصه، ابتدا ۰/۱ گرم نمونه برگ به اندازه‌های یکسان تهیه و سپس در ظروف حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار داده شد. بعد از آن نمونه‌ها به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای ٤٠ درجه سانتی‌گراد قرا داده شده و پس از سرد شدن در دمای اتاق هدایت الکتریکی (EC) آنها با استفاده از دستگاه هدایت سنج الکتریکی اندازه‌گیری شد (به عبارتی C۱). درادامه، نمونه‌ها در حمام آب۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۱۵ دقیقه حرارت داده شده و به‌وسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی EC آن اندازه‌گیری شد (به عبارتی C۲). به طور کلی، MSI از فرمول ذیل بدست آمد:

$$(\%)\ MSI = [1 - (C1 / C2)] \times 100$$

در راستای تعیین میزان کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها از روش Lichtenthaler و Buschmann (۲۰۰۱) استفاده شد. به‌طور خلاصه، ابتدا ۰/۲ گرم برگ با ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۹ درصد در هاون چینی سائیده شده و سپس محلول حاصل به‌مدت ۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شده و سپس جذب محلول رویی جهت تعیین میزان کلروفیل‌ها و کارتنوئید توسط اسپکتروفتومتر در طول موج‌های ٦٥٣، ٦٦٦ و ٤٧٠ نانومتر قرائت شد. میزان کلروفیل b و a، کلروفیل کل (a+b) و میزان کارتنوئیدها از طریق معادله های زیر محاسبه شد:

$$Chl\ a = 15.65\ A_{666} - 7.340\ A_{653}$$

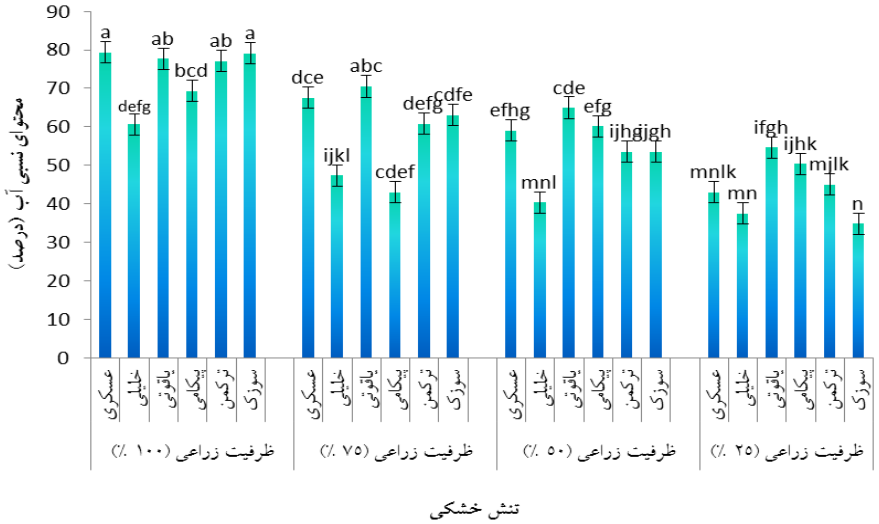
$Chl\ b = 27.05\ A_{653} - 11.21\ A_{666}$
$Carotenoid = 1000\ A_{470} - 1.8\ Chl\ a - 85.02\ Chl\ b$

غلظت ترکیبات فنلی طبق روش Isfendiyaroglu و Zeker (۲۰۰۲) تعیین شد بدین صورت که ۰/۱ گرم نمونه برگی با ازت مایع هموژن شده و ۱ میلی‌لیتر اتانول خالص به هر نمونه افزوده شد. بعد از سانتریوفیوژ با ۳۰۰۰ دور به‌مدت ۱۵ دقیقه، ۲۵ میکرولیتر عصاره، ۱ میلی لیتر آب مقطر و ۵۰ میکرولیتر معرف فولین شیکالتو مخلوط و بعد از ۵ دقیقه استراحت، ۳۰۰ میکرولیتر کربنات‌سدیم ۲۰ درصد به آن افزوده شد. بعد از گذشت ۳۰ دقیقه، جذب نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. برای تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزار SAS استفاده شد. همچنین، مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها در این مطالعه گویای تغییرات معنی‌دار در محتوای آب نسبی برگ‌ها در اثر ارقام، سطوح تنش و اثر متقابل تنش خشکی و رقم انگور در سطح پنج درصد بود. با افزایش سطح تنش از ظرفیت زراعی ۱۰۰٪ تا ظرفیت زراعی ۲۵٪، محتوای آب نسبی برگ به‌طور معنی‌داری در ارقام انگور کاهش یافت. کمترین میزان RWC در سطح ظرفیت زراعی ۷۵٪، ظرفیت زراعی ۵۰٪ و ظرفیت زراعی ۲۵٪ به ترتیب متعلق به ارقام پیکامی، خلیلی و سوزک بود. با این‌حال، رقم یاقوتی توانست محتوای نسبی آب را به میزان قابل توجهی طی سطوح مختلف تنش خشکی حفظ کند؛ بطوری که بیشترین محتوای آب نسبی را در سطوح ظرفیت زراعی ۷۵٪، ظرفیت زراعی ۵۰٪ و ظرفیت زراعی ۲۵٪ نسبت به سایر ارقام نشان داد (شکل ۱). محتوای آب نسبی برگ یکی از صفات فیزیولوژیکی مناسب جهت بررسی الگوی پاسخ دستگاه فتوسنتز گیاه به خشکی می‌باشد. با بروز تنش کم آبی، پتانسیل اسمزی در برگ‌های انگور کاهش یافته و RWC برگ نیز کاهش می‌یابد (Lovisolo *et al*., 2016). افت پتانسیل آب مانع از سنتز پروتئین، رشد اندام، تقسیم سلولی و فتوسنتز خالص در گیاهان می‌شود (Hajiahmad, 2019). همچنین، محتوای آب نسبی برگ دارای رابطه مستقیمی با هدایت روزنه‌ای است و به‌سرعت بر آن اثر می‌گذارد و این‌گونه موجبات کاهش ظرفیت فتوسنتزی را فراهم می‌کند (Jalili Marandi *et al*., 2011). بنابراین این گونه می‌توان نتیجه گرفت که رقم انگور یاقوتی از توانایی بالایی در حفظ RWC برخودار است که در این توانایی، مکانیزم‌های مثل کنترل هدایت روزنه‌ای درگیر است. در توافق با یافته‌های تحقیق، سوخت‌سرایی و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که میزان RWC با افزایش سطح تنش خشکی در انگور کاهش می‌یابد. همچنین در توافق با نتایج پژوهش، اسدی و همکاران (۱۳۹۶) نیز مشاهده کردند که با افزایش شدت تنش، محتوای آب نسبی به‌طور چشم‌گیری در ژنوتیپ‌های انگور کاهش می‌یابد که میزان این کاهش وابسته به سازوکار مقاومتی ژنوتیپ است به‌طوری که ارقام مقاوم‌تر از سازوکار بستن روزنه به‌منظور جلوگیری از هدررفت آبی استفاده می‌کنند. سایر محققان نتایج مشابهی را در خصوص پاسخ ارقام انگور به خشکی از نظر محتوای نسبی آب

گزارش کرده‌اند (Cooley *et al*., 2017; Sorori *et al*., 2022).

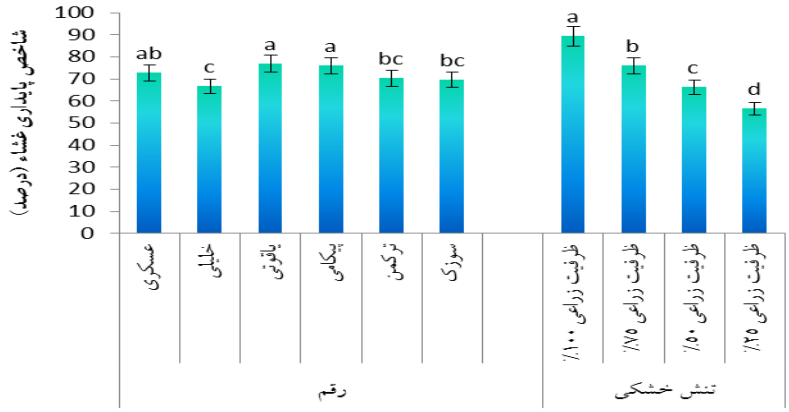


شکل ۱- محتوای آب نسبی برگ در ارقام مختلف انگور تحت شرایط آبی متفاوت

Fig 1- The leaf relative water content in the grapes varieties under different water conditions

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها در این مطالعه گویای تغییرات معنی‌دار در شاخص پایداری غشاء در اثر ارقام و سطوح تنش به ترتیب در سطح پنج و یک درصد بود. بر اساس مشاهدات ما، با افزایش سطح تنش از ظرفیت زراعی ۱۰۰٪ به ظرفیت زراعی ۲۵٪، شاخص پایداری غشاء به‌طور معنی‌داری در ارقام مورد مطالعه انگور با کاهش همراه بود به‌طوریکه شاخص پایداری غشاء تا ٦٠ درصد کاهش یافت. کمترین میزان شاخص پایداری غشاء متعلق به رقم خلیلی و بیشترین میزان شاخص پایداری غشاء متعلق به رقم یاقوتی بود (شکل ۲). تنش خشکی به نوبه خود منجر به انسداد روزنه‌ای و کاهش در سرعت تعرق، کاهش پتانسیل آب بافت‌های گیاهی، افت فتوسنتز و رشد می‌شود (Bertamini *et al*., 2006). در این شرایط گیاه نیازمند منفی‌تر کردن پتانسیل آب خود است تا توانایی جذب آب را داشته باشد در نتیجه باعث تشکیل رادیکال‌های آزاد می‌شود. رادیکال‌های آزاد اکسیژن به نوبه خود باعث تضعیف پایداری غشا می‌شوند (Cooley *et al*., 2017). همچنین، خشکی منجر به نشت یونی نیز می‌شود که درنتیجه این امر، نفوذ پذیری غشای سلولی افزایش می‌یابد و محتویات داخل سلول به بیرون نشت خواهد کرد (Martin-StPaul *et al*., 2017). در توافق با مشاهدات تحقیق، سوخت‌سرایی و همکاران (١٣٩٦) نشان دادند که میزان پایداری غشا با افزایش سطح تنش خشکی در انگور کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه رقم یاقوتی از پایداری غشاء بیشتری نسبت به سایرین برخوردار بود، لذا این احتمال وجود دارد که رقم یاقوتی از ظرفیت آنتی‌اکسیدانت بیشتری برای حفظ پایداری غشاء برخوردار می‌باشد که در این ظرفیت، مکانیزم‌های مثل سیستم آنتی‌اکسیدانتی آنزیمی و غیرآنزیمی درگیر می‌باشد. هم‌راستا با یافته‌های پژوهش، اسدی و همکاران (١٣٩٦) نیز

نشان دادند که ژنوتیپ‌های مقاوم‌تر انگور به تنش کم آبی از شاخص پایداری بالاتر غشا برخوردار هستند و لذا از این شاخص می‌توان به‌منظور غربالگری تحمل ژنوتیپ‌ها به خشکی در برنامه‌های بهنژادی استفاده کرد.



شکل ۲- شاخص پایداری غشاء در ارقام مختلف انگور تحت شرایط آبی متفاوت

Fig 2- The cell membrane stability in the grapes varieties under different water conditions

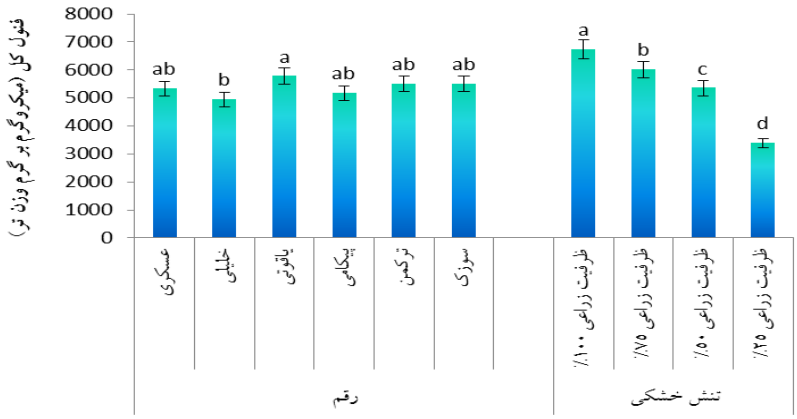
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها گویای تغییرات معنی‌دار در محتوای کلروفیل a بخاطر اثر متقابل تنش خشکی و رقم انگور در سطح پنج درصد بود. با افزایش سطح تنش از ظرفیت زراعی ۱۰۰٪ تا ظرفیت زراعی ۷۵٪، محتوای کلروفیل a برگ به‌طور اندکی در ارقام انگور کاهش یافت اما در سطح ظرفیت زراعی ۲۵٪، افت محتوای کلروفیل a محسوس بود. در سطح ظرفیت زراعی ۲۵٪، کمترین مقدار کلروفیل a متعلق به ارقام پیکامی، ترکمن ٤ و سوزک و بیشترین مقدار آن متعلق به رقم یاقوتی بود. همچنین، تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تغییرات معنی‌دار در محتوای کلروفیل b و کارتنوئید در اثر سطوح تنش در سطح یک درصد وجود دارد. با افزایش شدت تنش خشکی از ظرفیت زراعی ۱۰۰٪ به ظرفیت زراعی ۲۵٪، محتوای کلروفیل b و کارتنوئید به‌طور معنی‌داری در ارقام مورد بررسی انگور کاهش یافت به‌طوری که محتوای کلروفیل b و کارتنوئید به‌ترتیب ٤۷ و ٤۰ درصد کاهش یافتند (شکل ۳). تغییرات کلروفیل و کارتنوئید طی تنش کم آبی از معیارهای تعیین میزان تحمل به تنش محسوب می‌شوند (Chai *et al.*, 2016). تنش خشکی باعث پیری زودرس انگور و تضعیف مکان اصلی حضور کلروفیل، یعنی غشاء کلروپلاست، می‌شود. به‌عبارتی، طی تنش کم آبی، غشاء کلروپلاستی از بین می‌رود و صفحات کلروپلاستی تغییرشکل می‌دهند (Chai *et al.*, 2016). این موضوع می‌تواند یکی از دلایل کاهش میزان کلروفیل در ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این مطالعه باشد. در توافق با مشاهدات تحقیق، سوخت-سرایی و همکاران (۱۳۹٦) نشان دادند که میزان کلروفیل با افزایش سطح تنش خشکی در انگور کاهش می‌یابد و این امر عمدتاً به دلیل تخریب اندامک‌های کلروپلاستی می‌باشد. یکی از دلایل دیگر کاهش کلروفیل در ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این مطالعه را می‌توان ناشی از رقابت در سنتز کلروفیل و پرولین دانست. این امر بدان دلیل است که این دو ماده دارای پیش ماده مشابه یعنی گلوتامین هستند. با

بروز تنش خشکی، فعالیت آنزیم گلوتامات لیگاز برای سنتز کلروفیل افت کرده و در عوض آنزیم گلوتامین‌کیناز برای تبدیل گلوتامین به پرولین فعال می‌شود. هم راستا با یافته‌های پژوهش، اسدی و همکاران (۱۳۹۶) و Sorori و همکاران (۲۰۲۲) نشان دادند که با افزایش سطح تنش خشکی میزان کلروفیل در انگور با کاهش مواجه می‌شود که این کاهش می‌تواند در رقابت در سنتز کلروفیل و پرولین ریشه داشته باشد (اسدی وهمکاران، ۱۳۹۶). با توجه به آنچه گفته شد، رقم یاقوتی از مکانیزم‌های مثل حفظ غشاء اندامک‌های کلروپلاستی و همچنین بالانس مابین سنتز کلروفیل و پرولین بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد بررسی در این مطالعه برخودار است.

شکل ۳- محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی در ارقام مختلف انگور تحت شرایط آبی متفاوت

Fig 3- The photosynthetic pigments in the grapes varieties under different water conditions

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تغییرات معنی‌دار در محتوای فنول کل در اثر سطوح تنش در سطح پنج درصد وجود دارد. بر اساس مشاهدات حاصل از این مطالعه، با افزایش شدت تنش خشکی از ظرفیت زراعی ۱۰۰٪ به ظرفیت زراعی ۲۵٪، محتوای فنول کل به‌طور معنی‌داری در ارقام انگور کاهش یافت به‌گونه‌ای که فنول کل تا ۵۰ درصد کاهش یافت (شکل ٤). در مطابقت با مشاهدات تحقیق، Esmaeilizadeh و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که کاهش آب آبیاری باعث کاهش سطح ترکیبات فنلی و افزایش آب آبیاری باعث افزایش ترکیبات فنلی در ژنوتیپ‌های انگور می‌شود. علت کاهش ترکیبات فنلی تحت شرایط خشکی در این پژوهش احتمالاً ناشی از کاهش فعالیت آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز می‌باشد. آنزیم فنیل آلانین آمونیالیاز در واقع آنزیم اصلی درگیر در تولید ترکیبات فنلی می‌باشد که فعالیت آن در پاسخ به تنش های غیرزیستی و به خصوص خشکی تغییر می‌کند و به‌عنوان آنتی-اکسیدان عمل نموده و رادیکال‌های آزاد اکسیژن را به دام می‌اندازد. کاهش فعالیت این آنزیم احتمالاً به بیان فاکتورهای رونویسی درگیر در بیان ژن کدکننده آن برمی‌گردد. در توافق با نتایج تحقیق، Haider و همکاران (۲۰۱۷) مشاهده کردند که خشکی باعث کاهش بیان فاکتورهای رونویسی می‌شود که در بیان ژن فنیل آلانین آمونیالیاز درگیر هستند و کاهش بیان آنها متعاقباً منجر به کاهش بیان فنیل آلانین آمونیالیاز و کاهش تولید ترکیبات فنلی می‌شود.



شکل ٤- محتوای فنول کل در ارقام مختلف انگور تحت شرایط آبی متفاوت

Fig 4- The total phenol in the grapes varieties under different water conditions

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به یافته‌های مطالعه اخیر، ژنوتیپ‌هایی که تحت تنش خشکی، دارای محتوای نسبی آب برگ، شاخص پایداری غشاء، میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، محتوای فنول کل بالاتر می‌باشند، ظرفیت بیشتری در تحمل خشکی دارند. درنتیجه، به نظر می‌رسد که رقم یاقوتی نسبت به سایر ارقام انگور، تنش خشکی را به مراتب بهتر تحمل کند و لذا، برای کشت در مناطق با احتمال تنش خشکی توصیه می‌شود.

منابع

۱) احمدی، ک.، عبادزاده، ح.ر.، حاتمی، ف.، محمدنیا افروزی، ش.، طاغانی، ر. و ش، یاری. ۱٤۰۰. آمارنامه کشاورزی سال ۱۳۹۹: محصولات باغبانی. مرکز فناوری اطلاعات و

ارتباطات. معاون برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی.

۲) اسدی، و.، رسولی، م.، غلامی، م. و م، ملکی. ۱۳۹٦. بررسی برخی ویژگی‌های ریخت شناختی و فیزیولوژیک چهار رقم انگور (*Vitis vinifera* L.) در شرایط تنش خشکی. مجله علوم باغبانی ایران، ٤٨(٤): ۹۹۰-۹۹۷.

۳) سوخت‌سرایی، ر.، عبادی، ع.، سلامی، س ع. و ح، لسانی. ۱۳۹٦. بررسی شاخص‌های اکسیداتیو در سه رقم انگور (*Vitis vinifera* L.) در شرایط تنش خشکی. مجله علوم باغبانی ایران، ٤٨: ۹۸-۸۵.

٤) طلایی، ع.ر.، قادری، ن.، عبادی، ع. و ح، لسانی. ۱۳۹۰. پاسخ‌های بیوشیمیایی دو رقم انگور ساهانی و بیدانه سفید به تغییرات پتانسیل آب خاک. مجله علوم باغبانی ایران، ٤۲: ۳۰۱-۳۰۸.

۵) قادری، ن.، طلایی، ع.، عبادی، ع. و ح، لسانی. ۱۳۸۹. تأثیر تنش خشکی و آبیاری مجدد بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی سه رقم انگور ساهانی، فرخی و بیدانه سفید. مجله علوم باغبانی ایران، ٤۱(۲): ۱۷۹-۱۸۸.

٦) مهری، ح.ر.، قبادی، س.، بانی‌نسب، ب.، احسان زاده، پ. و م، غلامی. ۱۳۹۳. بررسی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک چهار رقم انگور ایرانی (*Vitis vinifera* L.) به تنش خشکی در شرایط درون شیشه‌ای. مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، ۱۰(۳)، ۱۱۵-۱۲٦.

7) Beis A. and A, Patakas. 2015. Differential physiological and biochemical responses to drought in grapevines subjected to partial root drying and deficit irrigation. *European Journal of Agronomy*, 62: 90-97.

8) Bertamini, M., Zulini, L., Muthuchelian, K. and N, Nedunchezhian. 2006. Effect of water deficit on phostosynthetic and other physiological responses in grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Riesling) plants. *Photosynthetica*, 44: 151-154.

9) Chai, Q., Gan, Y., Zhao, C., Xu, HL. and R.W, Askom. 2016. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36: 3-19.

10) Cooley, N.M., Clingeleffer, P.R. and RR, Walker. 2017. Effect of water deficits and season on berry development and composition of Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera* L.) grown in a hot climate. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 23: 260–272.

11) Esmaeilizadeh, M., Lotfi, A., Mirdehghan, S.H. and M, Shamshiri. 2018. Effects of irrigation intervals on some physiological and biochemical characteristics in four Iranian grapevine cultivars. *Crops Improvement*, 20: 3-14.

12) Galmes, J., Flexas, J., Save, R. H. and H, Medrano. 2007. Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. *Plant and Soil*, 290(1-2): 139-155.

13) Haider, M.S., Zhang, C. and M.M, Kurjogi. 2017. Insights into grapevine defense response against drought as revealed by biochemical, physiological and RNA-Seq analysis. *Scientific reports*, 7: 13134.

14) Hajiahmad, P. 2019. Physiological and biochemical response of three Iranian cultivars grapevine seedling 'Bidane sefid', 'Chafte' and 'Yaghooti to drought stress. *Journal of Plant Production Research,* 26: 1-13.

15) Isfendiyaroglu, M. and E, Zeker. 2002. The relation between phenolic compound and seed dormancy in *Pistacia spp.* In: AKB E (ed.). 11 Grema Serr Pistachios

and Almond. *Chieres Optins Mediterraneenes*, 232 -277.

16) Jalili marandi, R., Hassani, A., Dolati baneh, H., Azizi, H. and R, Haji taghiloo. 2011. Effect of different levels of soil moisture on the morphological and physiological characteristics of three grape cultivars (*Vitis vinifera* L.). *Journal of Horticultural Science,* 42: 31-40.
17) Keller, M. 2010. The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology. Burlington, MA: Academic Press
18) Lichtenthaler, H.K. and C, Buschmann. 2001. Extraction of photosynthetic tissues: chlorophylls and carotenoids. *Food Analytical Chemistry Protocoles*, F4.3.1-F4.3.8.
19) Lovisolo, C., Lavoie-Lamoureux, A., Tramontini, S. and Ferrandino, A. 2016. Grapevine adaptations to water stress: new perspectives about soil/plant interactions. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 28: 53–66.
20) Martin-StPaul, N., Delzon, S. and H, Cochard 2017. Plant resistance to drought depends on timely stomatal closure. *Ecology Letters*, 20: 1437–1447.
21) Sheng, C.X., Yong, P.L., Jin, H., Ya, J.G., Wen, G.M., Yun, Y.Z. and J.Z, Shui. 2010. Responses of Antioxidant enzymes to chilling stress in tobacco seedlings. *Agricultural Sciences in China*, 9(11): 1594-1601.
22) Sorori, Sh., Asgharzadeh, A., Marjani, A. and M, Samadi-Kazemi. 2022. Evaluation of Drought Stress Tolerance among some of Grape Cultivars Using Physiological and Biochemical Studies. *Journal of Horticultural Science*, 36(2): 373-388.