

تعیین میزان تحمل به دمای زیر صفر (سرمازدگی) در کهور پاکستانی (*Prosopis juliflora*) با استفاده از شاخص‌های فیزیولوژیک (مطالعه موردی: ماسه‌زارهای استان خوزستان)

کوروش بهنام‌فر^{۱*}، عزیز ارشم^۲، محمدحسن صالحه شوشتری^۳، مهرداد طاووسی^۴، عبدالرضا دانایی^۵ و

جمال الدین عادل^۶

- *۱- نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران، پست الکترونیکی: ko_behnamfar@yahoo.com
- ۲- مربی پژوهشی، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
- ۳- کارشناس پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
- ۴- کارشناس ارشد پژوهشی، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران
- ۵- کارشناس ارشد، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان، اهواز، ایران
- ۶- کارشناس ارشد پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۴/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۸/۰۳

چکیده

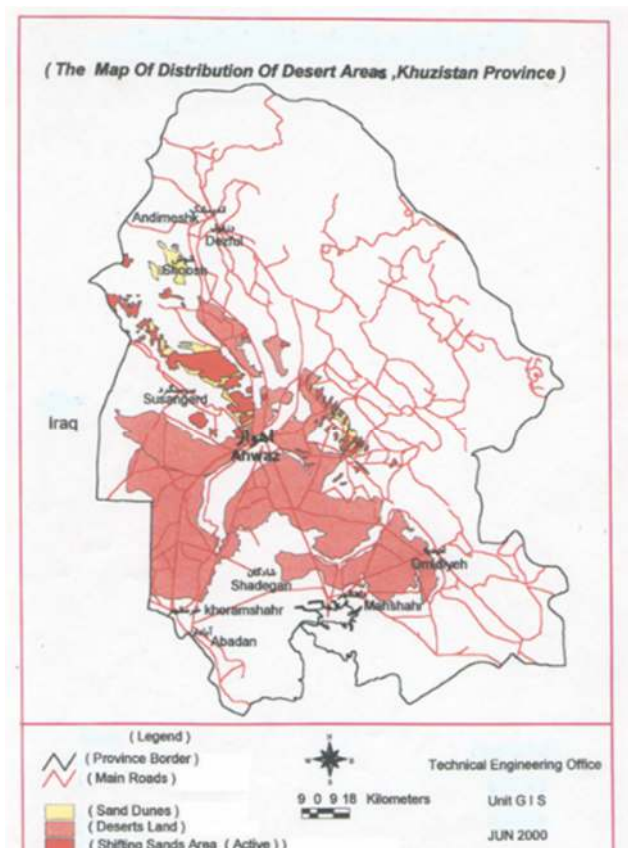
بروز دماهای زیر صفر در زمستان‌های اخیر در استان خوزستان، موجب سرمازدگی درختان دست‌کاشت کهور پاکستانی (*Prosopis juliflora*) در ماسه‌زارها شده است. به منظور بررسی حساسیت به سرمازدگی در این گونه از طریق تعیین دماهای زیر صفر و زمان‌های بحرانی، از جنبه‌های فیزیولوژیک در سال ۱۳۹۱ یک پژوهش اجرا شد. در این تحقیق از یک طرح آماری اسپلیت اسپلیت پلات در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تکرار استفاده شد. به طوری که به منظور اعمال تیمارها از سرشاخه‌های درختان مسن و نهال‌های دوساله به‌عنوان تیمار اصلی و دماهای زیر صفر (۱-، ۳-، ۵- و ۷- درجه سانتی‌گراد) به‌عنوان تیمار فرعی اول و زمان‌های اعمال سرما (۱، ۲، ۳ و ۴ ساعت) به‌عنوان تیمار فرعی دوم در نظر گرفته شدند. پس از سرمادهی میزان نشت الکترولیت‌ها از غشاء سلول‌های برگ و ساقه اندازه‌گیری و بر این اساس LT₅₀ محاسبه و میزان فلورسانس کلروفیل (II) و کارایی فتوسنتز برگ‌ها به‌عنوان شاخص‌هایی برای تعیین خسارت سرمازدگی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بین سرشاخه‌های درختان چندساله و نهال‌های دوساله از نظر کلیه صفات تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. درصد نشت الکترولیت‌های با کاهش دما در حد معنی‌داری از برگ و ساقه افزایش یافت. LT₅₀ در دمای ۵- درجه سانتی‌گراد پس از سه ساعت اتفاق افتاد و در دمای ۷- درجه پس از اولین ساعت در برگ‌ها و در ساقه‌ها در ساعت سوم اتفاق افتاد. حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم (II)، با کاهش دمای زیر صفر و تداوم آن روند کاهشی معنی‌داری داشت. برگ‌های این گیاه تا دو ساعت دمای ۱- درجه سانتی‌گراد را بدون تغییر معنی‌داری در عملکرد کوانتومی تحمل نمودند اما با تداوم دمای ۱- درجه سانتی‌گراد تا سه ساعت این مقدار از ۰/۶۴ (در شاهد) به حدود ۰/۴۸ رسید و اعمال چهار ساعت دمای ۷- درجه مقدار این شاخص را به ۰/۱۵ رساند.

واژه‌های کلیدی: کهور پاکستانی، نشت الکترولیت‌ها، LT₅₀، تحمل به سرما، عملکرد کوانتومی فتوسیستم (II).

مقدمه

در استان خوزستان در حدود ۳۵۰۰۰۰ هکتار عرصه‌های ماسه‌زار وجود دارد که عملیات تثبیت آنها از سال ۱۳۴۷ آغاز شده است (شکل ۱). از حدود سه دهه پیش کهور پاکستانی (*Prosopis juliflora*) به‌عنوان یکی از عناصر اصلی در تثبیت بیولوژیک این عرصه‌ها مطرح و منجر به ایجاد جنگل‌های گسترده و تقریباً خالصی از این گونه شده است (با وسعت تقریبی ۱۴۰۰۰۰ هکتار). این جنگل‌ها اثرهای عمیقی بر زندگی روستائیان این مناطق از جنبه‌های مختلف اقتصادی و اجتماعی (امکان سکونت در روستاها، فراهم شدن شرایط کشت‌وکار در بخشی از اراضی، چرای دام در زیر اشکوب این جنگل‌ها به دلیل وجود مهمترین گندمیان گرمسیری مرتعی در این عرصه‌ها (Behnamfar et al., 2014)، استفاده از غلاف

کهور در تغذیه دام و ... گذاشته است. آنچه در حوزه بیابان‌زدایی و مهار بیولوژیکی آن با استفاده از این گونه حائز اهمیت است، کاربرد و کارکرد خوب این گونه در ماسه‌زارها و تپه‌های ماسه‌ای لخت و عریان مناطق جنوبی کشور است. گونه کهور پاکستانی در مقایسه با گونه‌های دیگر درختی و درختچه‌ای با تحمل شرایط سخت حاکم بر منطقه (دمای بالا و کمبود رطوبت) استقرار و رشد مطلوبی داشته و با تاج گسترده خود قادر است سطح خاک را پوشش داده و مانع از برداشت و فرسایش بادی شود (Behnamfar et al., 2014). با توجه به حجم بالای لاشبرگ‌ها در زیر اشکوب این گونه مواد آلی خاک بالا رفته و رطوبت خاک تا حدود زیادی حفظ می‌شود که سبب رشد گونه‌های علفی می‌شود که مورد تعلیف دام‌ها قرار می‌گیرند (Najafi & Jalili, 2012).



شکل ۱- نقشه پراکنش عرصه‌های شنزار در استان خوزستان (اداره کل منابع طبیعی استان خوزستان)

همه در یک سطح خسارت دیدند، اما بین دو منطقه اختلافات معنی دار بود. به طوری که درختانی که در ارتفاع بالاتر رشد کرده بودند خسارت کمتری دیدند. آزمایشی که توسط Peguero-Pina و همکاران (۲۰۰۸) در اسپانیا بر میزان خسارت یخ‌زدگی، در یک توده کاج (*Pinus sylvestris* L.) از دو روش نشت الکترولیت‌ها و میزان فلورسانس کلروفیل (II) مورد بررسی قرار دادند. نتایج حکایت از آن بود که میزان تغییرات F_v/F_m (کارایی فتوسنتز) در ساقه و برگ‌ها با کاهش دما (صفر تا -۸۰ درجه سانتی‌گراد) از یک مدل لوجستیک سیگموئیدی تبعیت می‌نماید، به طوری که این مقدار در برگ‌ها تا دمای $-۲۷/۵$ درجه در حد $۰/۸۵$ بوده اما پس از آن بلافاصله تا حدود صفر کاهش خواهد یافت. درحالی که این مقدار در شاخه‌های جوان تا دمای $-۴۳/۹$ در حد $۰/۷۵$ بود و پس از آن تا حدود $۰/۲$ کاهش یافت و میزان نشت الکترولیت‌ها در ساقه و برگ‌ها با کاهش دما افزایش یافت. Luoranen و همکاران (۲۰۰۴) میزان حساسیت به سرما را در نهال‌های غان نقره‌ای (*Betula pendula*) در کشور فنلاند از طریق بررسی میزان نشت الکترولیت‌ها، وضعیت تغییر رنگ در ساقه‌ها و زنده‌مانی نهال‌ها بعد از سرمادهی انجام دادند. تیمارهای دمایی عبارت بودند از: -۵ ، -۱۵ ، -۲۵ ، -۳۵ و -۴۵ درجه سانتی‌گراد. نتایج نشان داد که میزان نشت الکترولیت‌ها از یک منحنی لوجستیک تبعیت می‌نماید، به طوری که با کاهش دما از یک حد معینی نشت الکترولیت‌ها به حدود $۰/۷$ خواهد رسید. این درحالی بود که فرایند خوسرمایی (Hardening)، موجب افزایش مقاومت گیاهان در برابر دماهای زیر صفر خواهد شد. به طوری که در نمونه‌های مربوط به ماه آگوست این دما (حدمقاومت) در حدود $۳/۸$ درجه سانتی‌گراد بود اما در ماه اکتبر این مقدار به $۱۲/۸$ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. قهوه‌ای شدن ساقه‌ها در آگوست در دمای $۳/۴$ و در اکتبر $۱۷/۸$ درجه سانتی‌گراد بود. مرگ کامل گیاهان در آگوست در دمای $۴/۳$ اتفاق افتاد، در حالی که در اکتبر این مقدار به -۲۹ رسید. Percival (۲۰۰۴) سه گونه درختی غان *Betula pendula* بلوط همیشه سبز *Quercus ilex* و خاص *Ilex*

باتوجه به تغییراتی که در سال‌های اخیر در شرایط آب و هوایی خوزستان و به‌ویژه بروز دماهای زیر صفر در مناطق یادشده رخ داده است، که قطعاً بی‌ارتباط با پدیده تغییر اقلیم جهانی نبوده، موجب سرمازدگی و خشکیدگی اندام‌های هوایی این درختان و وارد آمدن خسارت گسترده و جبران‌ناپذیری به بخش عظیمی از این جنگل‌های دست کاشت شده است. از این رو به‌منظور تعیین راهبرد تداوم و یا محدود نمودن استفاده از این گونه در برنامه‌های جاری و آینده تثبیت بیولوژیک ماسه‌های روان لازم است تا میزان حساسیت به سرما در این گونه از جنبه‌های اکوفیزیولوژیک مشخص گردد.

در بررسی که توسط Baghbanha و همکاران (۲۰۰۷) در شیراز انجام شد، معلوم گردید که تغییرات میزان کلروفیل، قندهای محلول، میزان نشت الکترولیت‌ها و فلورسانس کلروفیل به‌عنوان معیارهای ارزیابی یخ‌زدگی در دان نهال‌های لیموی آب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در اثر تنش یخ‌زدگی، میزان نشت الکترولیت‌ها افزایش و میزان کلروفیل، کارایی فتوشیمیایی (II) (F_v/F_m) و سرعت انتقال الکترون کاهش معنی‌داری یافت. Gomory و همکاران (۲۰۱۰) در اسلوواکی میزان تحمل به سرما را در سه پرووانانس کاج نوئل را در دو ایستگاه به کمک دو روش میزان نشت الکترولیت‌ها و مقدار فلورسانس کلروفیل، پس از اعمال تنش سرمایی مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش دو تیمار دمای -۲۰ ، -۸۰ درجه سانتی‌گراد مد نظر قرار گرفت. نتایج نشان داد که در درجه اول شرایط محیطی موجب اختلاف در مقاومت به سرما خواهد شد و اختلاف ژنتیکی در درجه دوم سبب این تفاوت‌ها می‌شود. به طوری که در گیاهان مربوط به کمترین ارتفاع رویشگاهی (۴۵۰ متر) بیشترین خسارت مشاهده شد و کمترین خسارت مربوط به گیاهان رویشگاهی با ارتفاع ۱۲۵۰ متر (بالاترین ارتفاع از سطح دریا) بود. در دمای ۲۰ درجه و در منطقه با کمترین ارتفاع از سطح دریا پرووانانس‌های P_1 ، P_{12} نسبت به P_4 از حساسیت بیشتری (در حد معنی‌دار) برخوردار بودند؛ در حالی که در دمای -۸۰ درجه میان پرووانانس‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و

که تخریب لایه ازن که ناشی از تغییر اقلیم است موجب کاهش ظرفیت خوسرمایی (Hardening) و در نتیجه افزایش حساسیت به یخزدگی در این گونه شده است. Azzarello و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی مقاومت به سرما در ژنوتیپ‌های مختلف زیتون اعلام کردند که رابطه بین میزان نشت الکترولیت در شاخه و برگ‌ها از یک منحنی سیگموئیدی تبعیت می‌نماید؛ به طوری که با کاهش دما میزان تخریب سلول‌های این بافت‌ها افزایش می‌یابد. همچنین باید در نظر داشت گیاهانی که از قبل در دماهای پایین قرار می‌گیرند دارای مقاومت بالاتری به یخزدگی می‌باشند و به‌عنوان یک اصل کلی ساقه‌ها از برگ‌ها مقاوم‌ترند، زیرا در دماهای یکسان میزان نشت الکترولیت‌ها کمتر از برگ‌هاست. واریته‌ها نیز دارای اختلافات معنی‌داری بودند، واریته‌های Rocca Bernorda (با ۱۶/۴- درجه سانتی‌گراد برای ساقه و ۱۴/۴- درجه برای برگ) و PP2 (با ۱۶/۱- و ۱۴/۴- درجه سانتی‌گراد) مقاوم‌ترین واریته‌ها و Coratina با ۱۱/۸- و Imani با ۸/۱- درجه سانتی‌گراد حساس‌ترین واریته بودند. همکاران (۲۰۱۱) میزان نشت الکترولیت‌ها در ۶۰ کولتیوار بادام در اثر سرمازدگی بهاره (دمای ۳/۵- درجه سانتی‌گراد) در مرحله گل‌دهی را بررسی و اعلام کردند که میزان مقاومت به سرما به‌شدت تحت تأثیر ژنتیک بوده و ژنوتیپ‌هایی که دارای مقاومت به سرما بودند کمترین میزان نشت الکترولیت‌ها را داشتند. همچنین اظهار نمودند که میزان نشت الکترولیت‌ها می‌تواند به‌عنوان شاخصی برای تعیین مقاومت به سرما در اصلاح بادام مورد توجه قرار گیرد. Mancuso و همکاران (۲۰۰۴) در ایتالیا ۲ گونه *Grevillea spp* و ۴ گونه از *sp Callistemon* با منشأ استرالیا را از نظر حساسیت به دماهای پایین‌کننده از طریق بررسی میزان نشت الکترولیت‌ها و تغییر رنگ در برگ‌ها مورد بررسی قرار دادند. LT₅₀ در کلیه گونه‌های مورد بررسی بین ۹/۵- تا ۴/۶- درجه سانتی‌گراد بود. به طوری که گونه *G. olivacea* حساس‌ترین و گونه *C. salignus* مقاوم‌ترین گونه بودند. Ibanez و همکاران (۲۰۱۰) در کشور سوئد از طریق بررسی میزان نشت الکترولیت‌ها پس از اعمال تنش سرمایی، نسبت به تعیین

aquifolium را از نظر تحمل به یخزدگی با اعمال تیمارهای دمایی ۱۰-، ۸-، ۶-، ۲- و صفر درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت توقف در هر دما مورد مقایسه قرار داد. نتایج او نشان داد که بین گونه‌ها و نیز تیمارهای دمایی اختلافات معنی‌داری در سطح ۱٪ وجود داشت. به طوری که گونه غان دارای بالاترین مقاومت و پس از آن بلوط و گونه خاص دارای کمترین مقاومت به یخزدگی را داشتند. این ترتیب در دوروش اندازه‌گیری میزان خسارت (میزان نشت الکترولیت‌ها و کلروفیل فلورسانس) هم‌خوانی داشتند. به طوری که میزان نشت الکترولیت‌ها در گونه غان از حدود ۲/۲ درصد در دمای صفر درجه تا ۱۸ درصد در دمای ۱۰- درجه ادامه یافت. در گونه بلوط از حدود ۳٪ تا ۳۷٪ و در گونه خاص این مقادیر از ۳/۲ درصد تا ۵۴ درصد ادامه یافتند. همچنین در این بررسی مشخص شد که دمای بحرانی برای گونه بلوط ۶- درجه سانتی‌گراد و در گونه خاص ۴- درجه سانتی‌گراد بود. Ranford و Reiling (۲۰۰۷) در انگلستان میزان حساسیت به سرما را در گونه خاص (*Ilex aquifolium*) از طریق اعمال تیمارهای دمایی ۱۵-، ۱۰- و ۵- درجه سانتی‌گراد در شب و دمای ۲ درجه سانتی‌گراد در روز با زمان‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ شبانه‌روز مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که به‌طور کلی با کاهش دما و نیز با افزایش تعداد روزهای آزمایش نسبت F_v/F_m (کارایی فتوسنتز) کاهش می‌یابد، اما شیب کاهش این پارامتر نه تنها بستگی به کاهش دما دارد بلکه مدت تنش نیز بر آن اثرهای معنی‌داری خواهد داشت. به‌نحوی که با تحمل دمای ۱۵- سانتی‌گراد برای یک شب مقدار کارایی فتوسنتز تنها در حد ۵٪ کاهش یافته اما چنانچه این مدت به سه شب افزایش یابد این مقدار در حد ۱۰ درصد کاهش خواهد یافت. مقدار نشت الکترولیت‌ها نیز با کاهش دما افزایش یافت. این مقدار در دمای ۵- درجه سانتی‌گراد در حد ۲۵ درصد بود که با کاهش دما به بیش از ۵۰ درصد رسید. درصد زنده‌مانی نیز با کاهش دما رابطه مستقیم داشت، این مقدار در دمای ۵- درجه در حد ۸۵ درصد و در دمای ۱۰- درجه به ۴۵ درصد و در دمای ۱۵- درجه به کمتر از ۱۰ درصد رسید و در نهایت نگارنده این نتیجه‌گیری را نمود

دماهای مختلف زیر صفر با ۴ سطح (۱-، ۳-، ۵- و ۷-) به عنوان تیمار فرعی اول و زمان‌های مختلف اعمال تیمارهای دمایی نیز با ۴ سطح (۱، ۲، ۳ و ۴ ساعت) به عنوان تیمار فرعی دوم در نظر گرفته شدند (جمعا ۳۲ ترکیب تیماری). سرشاخه‌های درختان مسن و نهال‌های دوساله به‌طور کامل با گلدان تحت تیمارهای سرمادهی قرار گرفتند. پس از سرمادهی از نهال‌های دوساله نیز سرشاخه‌های ۳۰ سانتی‌متری (رویش‌های یکساله) برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژیک تهیه شد. سه قطعه یک سانتی‌متری از پایین، میان و بالای شاخه‌ها جدا شد، همچنین سه برگ مرکب از ابتدا، میان و پایین این شاخه‌ها جدا و برای آزمایش نشت الکترولیت‌ها (از ساقه و برگ) مطابق دستورالعمل Luoranen و همکاران (۲۰۰۴) استفاده شد و میزان نشت الکترولیت‌ها در هر تیمار مشخص و با شاهد مقایسه شد و دمای بحرانی که موجب نشت بیش از ۵۰ درصد محتویات سلول شد، تعیین گردید (LT_{50} یا درجه حرارت کشنده برای ۵۰٪ نمونه‌ها). بر این اساس نمودارهای مربوطه ترسیم شد. لازم به یادآوری است که دمای آغاز و پایان سرمادهی ۵ درجه سانتی‌گراد و سرعت کاهش و افزایش دما ۳-۵ درجه سانتی‌گراد در ساعت بود. قبل و پس از اعمال تیمارهای سرمایی میزان فلورسانس کلروفیل برگ‌ها (حداقل ۸ برگ از هر نهال) که ناشی از شکسته شدن زنجیره انتقال الکترون در کلروپلاست‌ها و موجب توقف فتوسنتز سلول در اثر تنش سرما است، شامل F_0 (فلورسانس پایه از کلروفیل)، F_m (حداکثر فلورسانس کلروفیل) و F_v/F_m (کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم (II)) نیز به کمک دستگاه فلورسانس متر Chlorophy (II) (fluorometer مدل OPTI-SCIENCES) اندازه‌گیری شد. کلیه داده‌ها به کمک نرم‌افزار آماری SAS تجزیه واریانس شد و نمودارها به وسیله نرم‌افزار Excel ترسیم گردید.

لاین‌های مقاوم *Populus* (صنوبر) اقدام نمودند و دریافتند که توده بومی از نظر مقاومت به سرما به لاین‌های اصلاح شده برتری داشت. به نحوی که در دماهای زیر صفر اعمال شده، هیچ‌گونه نشت الکترولیت و نیز تغییر رنگ در بافت‌های ساقه نشان نداد. در حالی که لاین‌های Lhy-10 از دمای ۱۸- درجه سانتی‌گراد شروع به بروز علائم سرمازدگی (افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها) نمودند و در دمای ۵۱- درجه سانتی‌گراد دچار خسارت جدی و شدید شدند، این وضعیت در درختان مسن این لاین در دوره استراحت زمستانه نیز مشاهده شد.

اهداف

- تعیین دماهای بحرانی برای گونه کهور پاکستانی
- تعیین زمان‌های بحرانی در دماهای زیر صفر مختلف برای گونه کهور پاکستانی

مواد و روش‌ها

کلیه عملیات اجرایی این پژوهش در اواسط زمستان و پس از رکورد رشد درختان کهور که پدیده خوش‌سرمایی (Hardening) به صورت طبیعی ایجاد شد، انجام گردید و به منظور اعمال تیمارهای سرمادهی از سرشاخه درختان مسن (از درختان با سن بیش از ده سال سرشاخه‌های ۳۰ سانتی‌متری رویش یکساله انتخاب و قطع شد و پس از قرار دادن در کیسه‌های نایلونی و فلاسک یخ به آزمایشگاه منتقل گردیدند) و دان‌نهال‌های دوسالانه کهور پاکستانی تولید شده در نهالستان تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان استفاده شد. به نحوی که سرشاخه‌ها و نهال‌های مذکور همزمان در اتاق سردخانه آزمایشگاه تحت تیمارهای مورد نظر قرار گرفتند. در این پژوهش از یک طرح آماری اسپلیت اسپلیت پلات در قالب کاملاً تصادفی با ۵ تکرار استفاده شد. به طوری که به منظور مقایسه دو روش سرمادهی از سرشاخه‌های درختان مسن و نهال‌های دوساله به عنوان تیمار اصلی استفاده شد؛

جدول ۱- خلاصه تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در گونه کهور پاکستانی تحت تأثیر تنش سرمایی

میانگین مربعات						
F _m	F ₀	F _v /F _m	نشت الکترولیت‌های ساقه	نشت الکترولیت‌های برگ	درجه آزادی	منابع تغییرات
(حداکثر فلورسانس)	(حداقل فلورسانس)	(عملکرد کوانتومی)				
۰/۶۰۹۵ ^{ns}	۰/۱۳۰۲۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۱۵ ^{ns}	۰/۳۶۲۹ ^{ns}	۰/۰۴۵۱ ^{ns}	۱	نمونه
۳۲۵/۲۱۴	۱۱۱/۶۹	۰/۰۰۲۵۱۴	۱/۸۸۸	۲/۳۴۹	۸	خطای a
۳۲۰۹۸/۶۴۱**	۸۹۴۹/۱۰**	۰/۵۷۴۱۰۳**	۲۱۸۵/۴۸**	۱۳۶۱۶/۰۵**	۳	دما
۸/۱۵۰ ^{ns}	۳/۲۲۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۳۶ ^{ns}	۰/۴۲۱۸ ^{ns}	۰/۰۹۳۷ ^{ns}	۳	نمونه * دما
۱۱۱/۱۸۱	۵۳/۳۳۹	۰/۰۰۰۰۹۴۱	۳/۳۸۴	۴/۰۵۱	۳۲	خطای b
۳۱۳۸/۹۴۱**	۸۳۶۶/۰۸**	۰/۵۳۰۱۱۱**	۵۷/۷۳**	۱۵۱۷/۷۷**	۳	زمان
۲۵/۲۵۰ ^{ns}	۱/۴۰۸ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۲۳۶ ^{ns}	۰/۲۴۹۶ ^{ns}	۰/۰۰۸۷ ^{ns}	۳	نمونه * زمان
۴۷۵/۸۹۲**	۴۷۶/۲۲**	۰/۰۲۱۸۹۵**	۳۲/۱۹**	۱۴۲۷/۹۸**	۹	دما * زمان
۲۲/۰۴۴ ^{ns}	۱/۸۷۵ ^{ns}	۰/۰۰۰۰۲۲۱ ^{ns}	۰/۱۴۲۷ ^{ns}	۰/۰۹۲۴ ^{ns}	۹	نمونه * دما * زمان
۱۰۸/۶۶۷	۴۳/۵۱۷	۰/۰۰۱۴۵۸	۲/۱۴	۳/۷۹	۹۶	خطای c
					۱۶۹	کل
۵/۸۵	۷/۵۹	۸/۹۰	۴/۵۱	۸/۴۳		ضریب تغییرات

***: به ترتیب وجود اختلاف معنی‌دار با احتمال خطای یک و پنج درصد

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین سرشاخه‌های درختان مسن و نهال‌های دوساله تحت تیمارهای اعمال شده در صفات مورد بررسی اختلاف معنی‌داری وجود نداشت؛ به طوری که مقایسه میانگین‌ها نیز این موضوع را تأیید کرد (جدول ۱ و ۲). مقایسه میانگین‌های نشت الکترولیت‌ها از برگ و ساقه، عملکرد کوانتومی فتوسیستم (II)، فلورسانس کمینه و بیشینه معلوم نمود که واکنش سرشاخه‌های درختان مسن و نهال‌های دوساله، در برابر تیمارهای سرمادهی تفاوت معنی‌داری نداشته و

میانگین‌های این صفات در یک گروه قرار گرفتند (جدول ۲). به طوری که بین دماهای زیر صفر، زمان‌های مختلف و اثرهای متقابل آنها از نظر میزان نشت الکترولیت‌های برگ و ساقه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال خطای ۱ درصد وجود داشت (جدول ۱). بررسی وضعیت میانگین‌ها معلوم نمود که با کاهش دما در حد معنی‌داری میزان نشت الکترولیت‌ها از برگ و ساقه کهور افزایش می‌یابد. افزایش مدت سرمادهی نیز سبب افزایش معنی‌دار نشت الکترولیت‌ها در برگ و ساقه شد (جدول ۲).

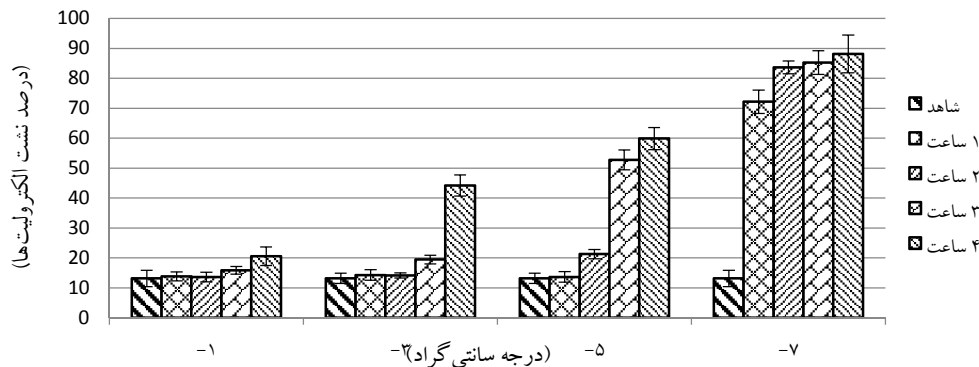
جدول ۲- مقایسه میانگین‌های درصد نشت الکترولیت‌ها از برگ و ساقه کهور (دانکن ۱٪)

تیمار	نشت الکترولیت‌ها از برگ (درصد)	نشت الکترولیت‌ها از ساقه (درصد)	عملکرد کوانتیمی فتوسیستم (II)	فلورسانس کمینه	فلورسانس بیشینه
<u>دما</u> (درجه سانتی‌گراد)					
-۱	۱۵/۹۹ d	۳۱/۵۵ d	۰/۵۴۴ a	۷۲/۶۷۹ c	۱۴۳/۰۷۱ c
-۳	۲۳/۰۳ c	۴۴/۳۷ c	۰/۵۰۸ b	۸۱/۳۲۱bc	۱۷۰/۰۷۱ b
-۵	۳۶/۹۱ b	۴۷/۴۴ b	۰/۴۱۹c	۸۹/۶۰۷ b	۱۹۸/۳۹۳ a
-۷	۸۲/۳۳ a	۵۷/۰۴ a	۰/۲۴۷ d	۱۰۸/۶۷۹ a	۲۰۸/۱۰۷ a
<u>زمان</u> (ساعت)					
۱	۲۸/۵۰ d	۳۸/۹۸ c	۰/۵۳۱ a	۷۱/۱۰۷ c	۱۶۹/۳۹۳ b
۲	۳۳/۲۰ c	۴۰/۴۶ c	۰/۴۴۶ b	۸۲/۴۶۴ b	۱۷۶/۷۵۰ ab
۳	۴۳/۳۳ b	۴۸/۲۹ b	۰/۳۹۰ bc	۹۷/۰۳۶ a	۱۸۰/۹۶۴ a
۴	۵۳/۲۲ a	۵۲/۶۴ a	۰/۳۵۱ c	۱۰۱/۶۷۸ a	۱۹۲/۵۳۶ a

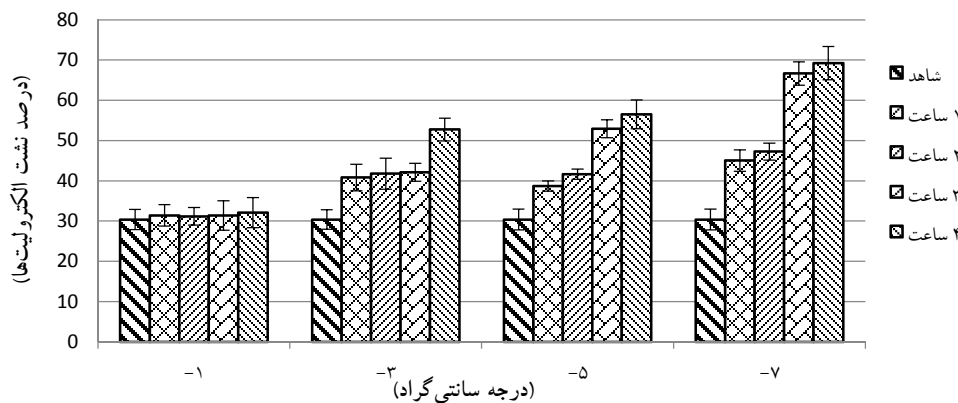
اعداد هر ستون در هر تیمار که دارای یک حرف مشترک می‌باشند در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری با هم ندارند.

سلولی برای جلوگیری از افزایش نشت الکترولیت‌ها در حد یک ساعت بود، اما با افزایش مدت سرما به ترتیب پس از دو، سه و چهار ساعت در حدود ۲۰٪، ۵۰٪ و ۶۰٪ بود. این در حالی بود که میزان نشت الکترولیت‌های برگ در دمای ۷- درجه سانتی‌گراد تغییرات شدیدی داشت، به طوری که پس از یک ساعت قرار گرفتن در این دما به بیش از ۷۰٪ و با ادامه اعمال ۷- درجه بیش از ۸۰٪ الکترولیت‌ها از دیواره سلولی به بیرون نشت کردند (شکل ۲). Mancuso و همکاران (۲۰۰۴) در ایتالیا پس از بررسی اثر سرما بر برگ ۲ گونه *Grevillea spp* و ۴ گونه از *Callistemon spp* به نتایج مشابهی دست یافتند، به طوری که با کاهش دما میزان نشت الکترولیت‌ها از برگ افزایش یافت.

بررسی میانگین درصد نشت الکترولیت‌ها در برگ کهور پاکستانی نشان داد که نه تنها کاهش دما میزان نشت را افزایش داد بلکه مدت توقف دمای زیر صفر نیز در حد معنی‌داری درصد نشت الکترولیت‌ها را از سلول‌های برگ بالا برد. به طوری که تداوم دمای ۱- درجه سانتی‌گراد تا سه ساعت تأثیر معنی‌داری ایجاد نکرد اما با تداوم این دما تا چهار ساعت میزان نشت را در حد معنی‌داری (تا حدود ۲۰٪) افزایش داد. در حالی که در دمای ۳- درجه سانتی‌گراد تحمل دیواره سلولی تا حدودی کاهش یافت، به نحوی که در این دما میزان نشت الکترولیت‌ها تا دو ساعت در حد شاهد بود، اما پس از گذشت سه ساعت به حدود ۲۰٪ و پس از سه ساعت به حدود ۴۵٪ رسید. در دمای ۵- درجه سانتی‌گراد میزان تحمل دیواره



شکل ۲- میزان نشت الکترولیت‌ها از برگ کهور پاکستانی در دماهای زیر صفر



شکل ۳- میزان نشت الکترولیت‌ها از ساقه کهور پاکستانی در دماهای زیر صفر

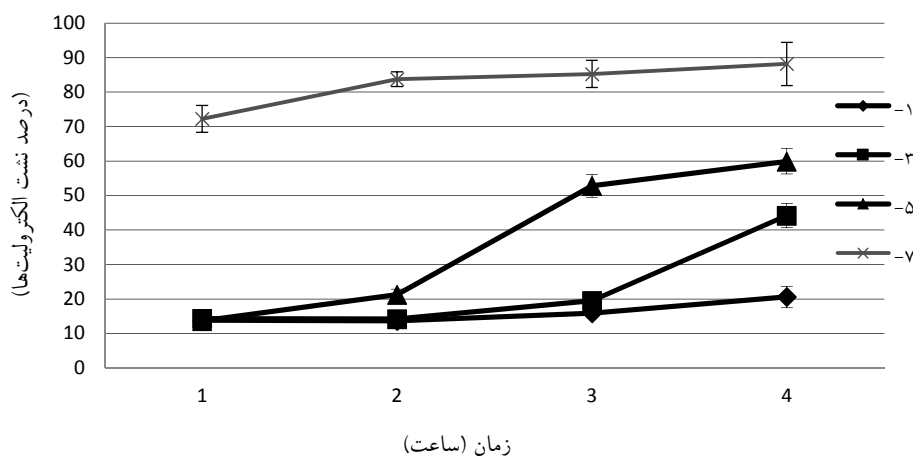
رسید. این در حالی بود که در تیمار -۷ درجه سانتی‌گراد پس از یک و دو ساعت این مقدار به حدود ۵۰٪ رسید و پس از سه و چهار ساعت در حدود ۷۰٪ الکترولیت‌ها به خارج از سلول نشت کردند (شکل ۳). Baghbanha و همکاران (۲۰۰۷) نیز در شیراز افزایش میزان نشت الکترولیت‌ها را در اثر خسارت یخ‌زدگی در دان نهال‌های لیموی آب اعلام کردند.

بررسی میزان نشت الکترولیت‌ها از برگ‌های کهور پاکستانی نشان داد که LT_{50} (درجه حرارت کشنده برای ۵۰٪ نمونه‌ها) بستگی کاملی به مدت زمان تداوم هر دما داشت. به طوری که در دمای -۳ درجه سانتی‌گراد پس از گذشت چهار ساعت این وضعیت برای سلول‌های برگ کهور پاکستانی

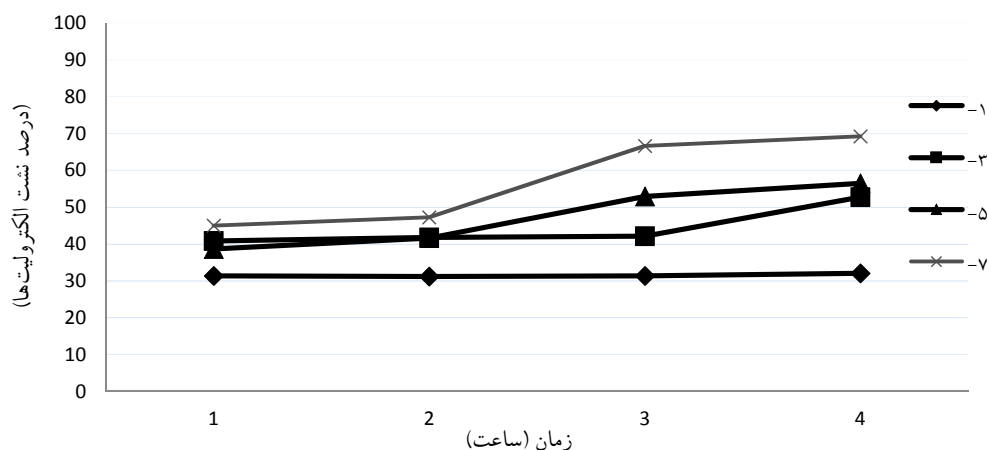
روند تغییرات میزان نشت الکترولیت‌ها در ساقه کهور پاکستانی در تیمارهای دما و مدت زمان قرار گرفتن در معرض دماهای زیر صفر در مقایسه با برگ تا حدودی متفاوت بود، به طوری که میزان نشت الکترولیت‌ها از دیواره سلولی ساقه‌ها در دمای -۱ درجه سانتی‌گراد تا چهار ساعت تغییر معنی‌داری نکرد و در حد شاهد (در حدود ۳۰٪) بود. به نحوی که با کاهش دما به -۳ درجه سانتی‌گراد میزان آن افزایش یافت و تا سه ساعت در حد ۴۰٪ تقریباً ثابت ماند اما با ادامه این شرایط تا چهار ساعت به بیش از ۵۰٪ رسید که این افزایش نیز معنی‌دار بود. با اعمال دمای -۵ درجه سانتی‌گراد در اولین و دومین ساعت میزان نشت الکترولیت‌ها حدود ۴۰٪ بود و در ساعات سوم و چهارم به حدود ۵۵٪

از تداوم چهار ساعت، در دمای ۵- درجه سانتی‌گراد پس از سه ساعت و در دمای ۷- درجه سانتی‌گراد پس از دو ساعت اتفاق افتاد (شکل ۵). Luoranen و همکاران (۲۰۰۴) نیز اعلام کردند که در نهال‌های غان نقره‌ای (*Betula pendula*) LT_{50} وابسته به دمای زیر صفر و مدت زمان تداوم آن داشت.

ایجاد شد. اما در دمای ۵- درجه سانتی‌گراد پس از گذشت سه ساعت LT_{50} حاصل شد. این درحالی بود که میزان خسارت دمای ۷- درجه در اولین ساعت بیش از LT_{50} بود (شکل ۴). میزان نشت الکترولیت‌ها در ساقه‌ها پس از اعمال تنش سرمایی معلوم نمود که LT_{50} در دمای ۳- درجه پس



شکل ۴- میزان نشت الکترولیت‌ها از برگ کهور پاکستانی در دماها و زمان‌های مختلف سرمادهی (LT_{50})



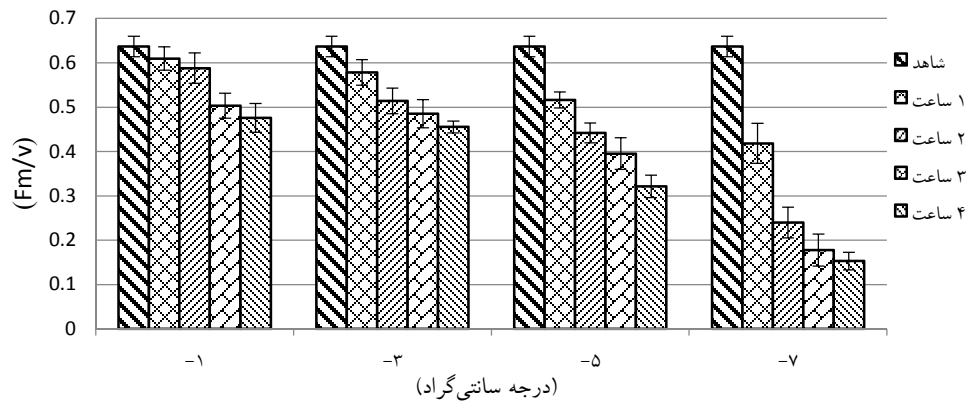
شکل ۵- میزان نشت الکترولیت‌ها از ساقه کهور پاکستانی در دماها و زمان‌های مختلف سرمادهی (LT_{50})

متفاوت بود (جدول ۱). بررسی میانگین‌ها نشان داد که حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم (II) با کاهش دمای زیر صفر و تداوم آن در زمان‌های بیشتر، روند کاهشی داشت؛ با این حال برگ‌های تا دو ساعت در دمای ۱- درجه سانتی‌گراد را بدون

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که حداکثر عملکرد کوانتومی فتوسیستم (II) (F_v/F_m)، کمینه و بیشینه فلورسانس برگ کهور پاکستانی، تحت تأثیر سطوح دماهای زیر صفر، زمان‌های مختلف و اثرهای متقابل آنها در حد معنی‌داری

حدود ۰/۴۸ رسید اما با اعمال چهار ساعت دمای ۷- درجه سانتی‌گراد مقدار آن به ۰/۱۵ رسید (شکل ۶). Percival (۲۰۰۴) در بررسی میزان حساسیت به سرما در گونه‌های درختی غان *Betula pendula*, بلوط همیشه سبز *Quercus ilex* و خاص *Ilex aquifolium* به نتایج مشابهی دست یافت.

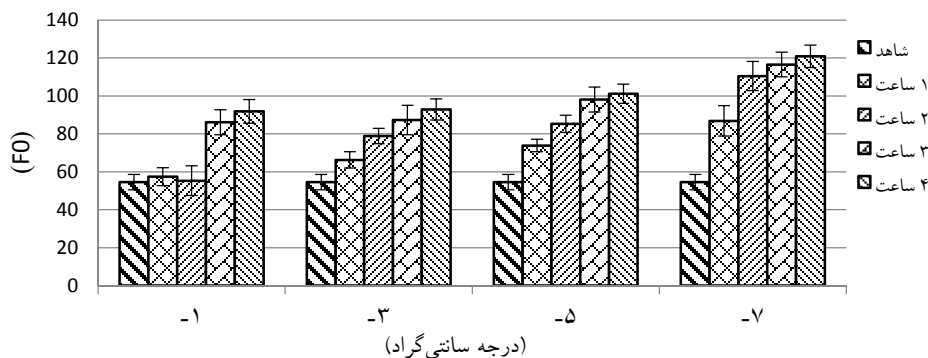
ایجاد تغییر معنی‌داری در عملکرد کوانتومی تحمل نمودند اما با افزایش مدت سرما به سه و چهار ساعت مقدار آن کاهش معنی‌داری نشان داد. این روند کاهشی در دماهای پایین‌تر با شدت بیشتری اتفاق افتاد. به طوری که با تداوم چهار ساعته دمای ۱- درجه سانتی‌گراد این مقدار از ۰/۶۴ (در شاهد) به



شکل ۶- عملکرد کوانتومی فتوسینتزم (III) برگ کهور پاکستانی در دماهای زیر صفر

روند افزایش داشت. به نحوی که با کاهش دما و افزایش زمان سرمادهی این روند افزایشی تسریع یافت (شکل ۷). Peguero-Pina و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر سرما بر کمینه فلورسانس در گونه *Pinus sylvestris* L. اظهار داشتند که سرمادهی موجب روند افزایشی این فاکتور شد.

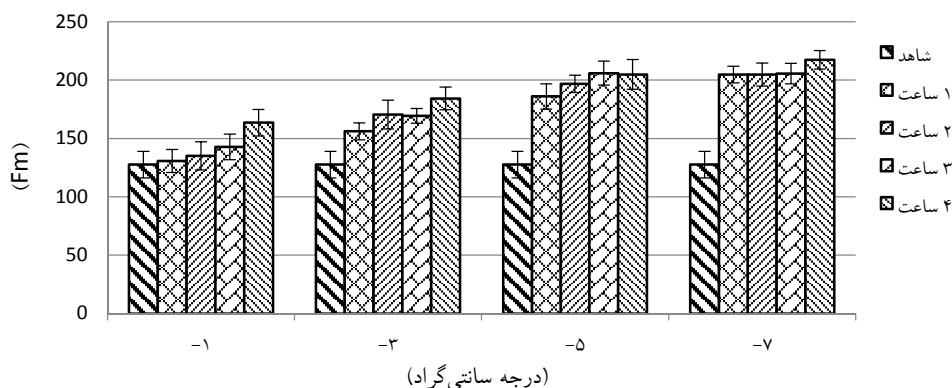
مقایسه میانگین‌های مربوط به کمینه فلورسانس (F_0) برگ کهور پاکستانی تحت تنش سرما نشان داد که تنها تا دو ساعت در دمای ۱- درجه سانتی‌گراد، مقدار این پارامتر را در حد شاهد نگه داشته شد اما با افزایش زمان به سه و چهار ساعت و نیز کاهش دما (۳-، ۵- و ۷- درجه سانتی‌گراد) این مقدار



شکل ۷- فلورسانس کمینه برگ کهور پاکستانی در دماهای زیر صفر

حد آماری افزایش یافت. بررسی میانگین‌ها در سایر سطوح دمایی نشان داد که بروز دماهای ۳- درجه سانتی‌گراد و کمتر از آن (حتی برای یک ساعت) سبب افزایش معنی‌دار حداکثر میزان فلورسانس (F_m) از برگ‌های این گونه شد (شکل ۸).

میانگین‌های مربوط به حداکثر فلورسانس (F_m) برگ کهور پاکستانی تحت تنش سرما مشخص کرد که این شاخص تا سه ساعت اعمال دمای ۱- درجه سانتی‌گراد، تغییر معنی‌داری نکرد اما با تداوم این دما به مدت چهار ساعت در



شکل ۸- فلورسانس بیشینه برگ کهور پاکستانی در دماهای زیر صفر

۱۰-، ۱۵- و ۲۰- درجه سانتی‌گراد) بر هفت رقم زیتون (روغنی ریز، دزفولی، روغنی، تخم کبکی، دراک، دهقان و زرد)، اندازه‌گیری نشت یونی را ابزاری مناسب برای تعیین میزان حساسیت به سرما دانستند. Aryanpooya1 و همکاران (۲۰۰۹) اثرهای معنی‌داری را در مقدار نشت یونی در ساقه‌های یکساله و دوساله ارقام مختلف هلو به دست آوردند و نشان دادند که برخی ارقام هلو مانند Independence دارای بیشترین میزان نشت الکترولیت در ساقه‌های یک و دوساله هستند که بیشترین صدمات یخ‌زدگی نیز برای این رقم ثبت شد. از سویی مدت توقف دمای زیر صفر درجه از اهمیت ویژه‌ای در بروز خسارت سرمازدگی برخوردار است و درصد نشت الکترولیت‌ها را از سلول‌های برگ و ساقه بالا می‌برد و این موضوع در تعیین LT_{50} در دماهای مختلف زیر صفر نقش مهمی دارد. به طوری که مطابق نتایج به دست آمده میزان خسارت به سلول‌های برگ کهور در توقف چهار ساعته دمای ۳- درجه سانتی‌گراد بیش از دو برابر خسارت بروز دمای ۵- درجه سانتی‌گراد در مدت دو ساعت می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده در کهور پاکستانی LT_{50} در برگ و ساقه از یک روند تقریباً مشابه تبعیت می‌کند. این تحقیق نشان داد که

بحث

نتایج نشان داد که در آزمون سرمادهی از نظر نشت الکترولیت و عملکرد کوانتومی فتوسیستم (II) (F_v/F_m) تفاوتی میان استفاده از سرشاخه درختان مسن و دان نهال دوساله وجود ندارد که با نتایج Luoranen و همکاران (۲۰۰۴) همخوانی دارد. بنابراین در این آزمایش‌ها از هر دو روش می‌توان استفاده نمود و انتظار نتایج یکسانی داشت. نشت الکترولیت همواره به عنوان یکی از بهترین شاخص‌های میزان زنده‌مانی و بقای بافت‌های زنده گیاهی در اثر تنش‌های محیطی مطرح است و می‌تواند یک صفت مناسب برای اندازه‌گیری حساسیت به سرما در کهور پاکستانی در نظر گرفته شود، زیرا معلوم شد که با کاهش دما، مدت زمان تحمل دیواره سلولی در این گونه به نحو قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. Barranco و همکاران (۲۰۰۵) نیز با بررسی تحمل به یخ‌زدگی هشت رقم زیتون نتیجه گرفتند که مقادیر نشت یونی در اثر اعمال هر چه بیشتر سرما تا ۲۲- درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد. این افزایش در ارقام حساس زیتون شدیدتر و به صورت ناگهانی دیده شد. Asl Moshtaghi و همکاران (۲۰۰۹) پس از بررسی اثر تنش دماهای زیر صفر (۱-، ۵-،

- dunes of Bostan, Khuzestan). Iranian Journal of Range and Desert Research, 21 (2): 273-281.
- Behnamfar, K., Siadat, S.A. and Salehe Shoshtari, M. H., 2014. Determination of suitable mixed plantation of rangeland, tree and shrub species with different row spacing's in order to produce forage and biological stabilization of sand dunes in Khuzestan. Iranian Journal of Range and Desert Research, 21 (1): 41-49.
 - Gomory, D., Foffova, E., Kmet, J., Longauer, R. and Romsakova, I., 2010. Norway spruce (*Picea abies* [L.] KARST.) Provenance variation in autumn cold hardiness: Adaptation or Acclimation?. Journal of Acta Biologica Cracoviensia Sertes Botanica, 52(2): 42-49.
 - Hu, W. H., Zhou, Y. H., Yao Shun Dua, Y. S., Xia, X. J. and Yua, J. Q., 2006. Differential response of photosynthesis in greenhouse- and field-ecotypes of tomato to long-term chilling under low light. Journal of Plant Physiol. 163: 1238-1246.
 - Ibanez, C., Kozarewa, I., Johansson, M., Ogren, E., Rohde, A. and Eriksson, M. E., 2010. Circadian Clock Components Regulate Entry and Affect Exit of Seasonal Dormancy as Well as Winter Hardiness in *Populus* trees. Journal of Plant Physiology, 153: 1823-1833.
 - Luoranen J., Repo, T. and Lappi, J., 2004. Assessment of the frost hardiness of shoots of silver birch (*Betula pendula*) seedlings with and without controlled exposure to freezing. Canadian Journal of Forest Research, 34(5): 1108-1118.
 - Mancuso, S., Nicese, F. P., Masi, E. and Azzarello, E., 2004. Comparing fractal analysis, electrical impedance and electrolyte leakage for the assessment of cold tolerance in *Callistemon* and *Grevillea spp.* Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 79(4): 627-632.
 - Najafi Tireh Shabankareh, K. and Jalili, A., 2012. Effects of *Prosopis juliflora* (SW.) DC on some physical and chemical soil properties. Iranian journal of Range and Desert Reseach, 19 (3): 406-420.
 - Peguero-Pina, J.J., Morales, F. and Gil-Pelegrin, E., 2008. Frost damage in *Pinus sylvestris* L. stems assessed by chlorophyll fluorescence in cortical bark chlorenchyma. Journal of Annals of Forest Science, 65(813): 1-6.
 - Percival, G.C., 2004. Evaluation of physiological tests as predictors of young tree establishment and growth. Journal of Arboriculture, 30(2): 80-91.
 - Ranford, J. and Reiling, K., 2007. The effect of winter stress on *Ilex aquifolium* L. previously fumigated with ozone. Journal of Environmental Pollution, 145: 171-178.

مؤلفه عملکرد کوانتومی فتوسیستم (II) (F_v/F_m) برای ارزیابی حساسیت به تنش سرما در کهور پاکستانی یکی از مهمترین شاخص‌های مرتبط می‌باشد، زیرا تنش سرمای وارده به سیستم فتوسنتز گیاه آسیب وارد می‌کند که از طریق تغییرات (کاهش) ایجاد شده در عملکرد کوانتومی فتوسیستم (II) (F_v/F_m) قابل اندازه‌گیری است (Hu *et al.*, 2006). به‌طور کلی از تکنیک فلورسانس کلروفیل می‌توان برای تشخیص تنش سرما و کمی کردن میزان تنش وارده در گیاهان کهور استفاده کرد. همچنین از نتایج این بررسی می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به حساسیت گونه درختی کهور پاکستانی به دماهای زیر صفر و نیز افزایش احتمال بروز یخبندان‌های شبانه در سال‌های اخیر، باید در توسعه کشت آن و به‌ویژه کشت خالص آن اجتناب کرد و گام‌هایی در افزایش تحمل به دماهای زیر صفر این گونه ارزشمند برای بیابان‌زدایی برداشت.

منابع مورد استفاده

- Aryanpooya1, Z., Davary nejad, Gh. and Attar, Sh., 2009. Investigation of frost susceptibility of some peach and nectarine cultivars in the winter of 2008, Mashhad, Iran. Journal of Horticultural Sciences, 23 (1): 78-87.
- Asl Moshtaghi, E., Shahsavari, A. R. and Taslimpour, M. R., 2009. Ionic leakage as indicators of cold hardiness in olive (*Olea europaea* L.). World Applied Sciences Journal, 7 (10): 1308-1310.
- Azzarello, E., Mugnai, S., Pandolfi, C., Masi, E., Marone, E. and Mancuso, S., 2009. Comparing image (fractal analysis) and electrochemical (impedance spectroscopy and electrolyte leakage) techniques for the assessment of the freezing tolerance in Olive Trees. Journal of Trees, 23: 159-167.
- Baghbanha, M. R., Fotouhi Ghazvini, R., Hatamzadeh, A. and Heidari, M., 2007. Effect of salicylic acid on freezing tolerance of Mexican Lime seedling (*Citrus aurantifolia* L.). Iranian Journal of Horticultural Science and Tecnology, 8(3): 185-198.
- Barranco D., Ruiz N. and Gomez-del Campo, M., 2005. Frost tolerance of eight olive cultivars. Journal of HortScience. 40: 558-560.
- Behnamfar, K. and Alemi Saied, K. H., 2014. Evaluation of changes in forage chemical composition of some range grasses and their correlation with digestibility (Case study: The sand

Determination of tolerance to below-zero temperatures in *Prosopis juliflora* using physiological indices

K. Behnamfar^{1*}, A. Orsham², M. H. Saleheh shushtari³, M. Tavoosi⁴, A. R. Danaii⁵ and J. A. Adel⁶

1*- Corresponding author, Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Ahvaz, Iran, E-mail: ko_behnamfar@yahoo.com

2- Research Instructor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Ahvaz, Iran

3- Forest Research Expert, Forests and Rangelands Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Ahvaz, Iran

4- Senior Research Expert, Seed and Plant Improvement Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran

5- Senior Expert, Natural resources and watershed of Khuzestan, Ahvaz, Iran

6- Senior Research Expert, Forests and Rangelands Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Ahvaz, Iran

Received:10/25/2017

Accepted:7/17/2018

Abstract

The occurrence of below-zero temperatures in recent winters in Khuzestan province has caused the freezing of *Prosopis juliflora* trees. The aim of this study was to determine the sensitivity of this species to freezing under zero temperatures. In this study, a split split plot was used in a completely randomized design with six replications. In order to apply the treatments, the branches of elderly trees and two-year old seedlings were considered as main treatment; below-zero temperatures (-1, -3, -5 and 7 ° C) as the first sub treatment; and different times (1, 2, 3 and 4 hours) as the second sub-treatment. The amount of electrolyte leakage from the membrane of leaf and stem cells was measured and, based on this, LT50 was calculated. The chlorophyll (II) fluorescence and photosynthesis efficiency of the leaves were measured as indicators for determining the damage to frost. The results showed that there was no significant difference for all traits between branches of the old trees and two-year-old seedlings. The percentage of electrolyte leakage from leaf and stem increased significantly with decreasing temperature. The LT50 occurred at -5 ° C after three hours. At -7 ° C, after the first hour, LT50 occurred in the leaves and after the third hour in the stems. After freezing stress, the Fv/Fm decreased significantly. After two hours at -1°C, Fv/Fm did not change significantly but in three hours Fv/Fm decreased from 0.64 (in control) to about 0.48. It reached to 0.15 after applying four hours at -7°C.

Keywords: *Prosopis juliflora*, electrolyte leakage, chlorophyll(II) fluorescence, LT₅₀, Fv/Fm.