اثر تنش خشکی بر برخی شاخص‌های بیوشیمیایی در چهار گونه گیاه پوششی (چمن لولیوم پرنه، پتنتیلا، شبدر سفید و فرانکینیا) با قابلیت استفاده در فضای سبز

الهام سمیعیانی[۱*]، حسین انصاری[۱]، مجید عزیزی[۲]، سید مجید هاشمی نیا[۱] و یحیی سلاح‌ورزی[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۴ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۸)

چکیده

امروزه مدیریت تنش در فضاهای سبز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر کم‌آبیاری تنظیم شده در چهار سطح (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی چمن) بر سنجه‌های بیوشیمیایی چهار گونه گیاه پوششی چمن لولیوم پرنه (*Lolium perenne*)، پتنتیلا (*Potentilla*)، شبدر سفید (*Trifolium repens*) و فرانکینیا (*Frankenia*) برای استفاده در فضای سبز، با سه تکرار انجام گرفت. نتایج نشان داد که گونه فرانکینیا بیشترین محتوای پرولین (۰/۸۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و کمترین میزان کلروفیل (۱۵/۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر)، تیمار آبی ۷۵٪ تنش، بیشترین میزان پرولین (۰/۸۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و تیمار شاهد بیشترین محتوای کلروفیل (۳۲/۶ میلی‌گرم در گرم وزن تر) را داشتند. در ارتباط با قندهای کل محلول، گونه‌های لولیوم پرنه و شبدر سفید به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر (۱/۵۴ و ۰/۷۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) را به خود اختصاص دادند. همچنین، گونه شبدر سفید بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۷۵/۰۵٪) را از خود نشان داد. در مجموع، کم‌آبیاری تنظیم شده بر خصوصیات بیوشیمیایی گیاهان مورد مطالعه مؤثر بود. اما استفاده از آن تا مرز ورود خسارت به گیاه، از راهکارهای مدیریتی مهم جهت کاهش مصرف آب در فضای سبز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: فعالیت آنتی‌اکسیدانی، قندهای کل محلول، محتوای پرولین، محتوای کلروفیل

مقدمه

فضاهای سبز از لحاظ زیست‌محیطی به عنوان شریان‌های حیاتی شهرها محسوب می‌شوند و با توجه به رشد روز افزون شهرنشینی، ایجاد فضاهای سبز کلان به عنوان مهمترین تعدیل کننده زیست‌محیطی شهرها، ضروری می‌باشد (۳). فضای سبز نقش تعیین کننده‌ای در حمایت از سیستم‌های اجتماعی و اکولوژیک شهری دارد (۱۰). اما در سال‌های اخیر و بخصوص در کشورهایی با اقلیم بیابانی و نیمه بیابانی، به دلیل کمبود آب با کیفیت مناسب، گسترش و ایجاد فضاهای سبز جدید با محدودیت‌های جدی روبرو گردیده است. بنابراین، انتخاب گونه‌های متحمل به خشکی که نیاز آبی کمی دارند از راه‌حل‌های مقابله با مشکل کم‌آبی می‌باشد.

ایستون و کلیندورفر (۱۵) در یک بررسی روی سرعت جوانه‌زنی بذر شش گونه از جنس گیاه زمین‌پوش چمن کویر (فرانکینیا) برای شناخت گونه‌ای که بزرگترین بذرها را تولید کرده به این نتیجه رسیدند که گیاه زمین‌پوش فرانکینیا برای

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: elhamsamieiani@yahoo.com

احیای زمین‌های خشک و شور مناسب می‌باشد. خلیل و همکاران (۲۲) در پژوهشی روی سازگاری گیاهان زمین‌پوش برای کاربرد در فضای سبز از میان شش گونه مورد استفاده، تنها دو گونه اسفناج خاردار (*Rhagodia spinescens* R. Br.) و بیابانرو (*Furcraea giganta* K. Koch.) را مقاوم و توانا در سازگاری تشخیص دادند. آزترک و ساکالی (۲۴) با مطالعه مقاومت گیاهان در مقابل خشکی گزارش کردند که گونه‌های مختلف جنس بلوط از ارقام مقاوم به خشکی جهت کاشت در فضای سبز هستند. آیوگ و همکاران (۹) برای مقایسه تحمل کم‌آبی برگ ۱۲ گونه چوبی، گیاهان را مورد مقایسه قرار داده و گزارش کردند که گونه‌هایی که در شرایط یکسان پتانسیل آب منفی‌تری را تحمل می‌کنند، مقاومت به خشکی بیشتری دارند. اسپیدکار (۲) پژوهشی برای ارزیابی و معرفی گیاهان زمین‌پوش مناسب برای ایجاد فضای سبز در ترکیه انجام داد.

نتایج به‌دست آمده مناسب بودن چمانواش قرمز (*Festuca rubra* L.)، چمانوش آبی (*Festuca ovina* L.) و علف بوریا (*Agrostis stolonifera* L.) را مشخص نمود. اذانی و همکاران (۱) تحقیقی به منظور برنامه‌ریزی بهتر فضای سبز شهری با تأکید بر مناطق گرم و خشک جنوب ایران انجام دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از گونه‌های گیاهی بومی مناطق گرم و خشک، علاوه بر ایجاد تنوع و زیبایی همچنین در کاهش آلودگی‌های هوا، صوتی و غیره به دلیل نیازهای کمتر و سازگاری بیشتر از نظر هزینه نگهداری مؤثرتر واقع می‌شود. زهتابیان و فرشی (۴) در مطالعه‌ای به برآورد نیاز آبی گیاهان فضای سبز در مناطق خشک پرداختند. گیاهان مورد بررسی درختان نسبتاً متحمل به خشکی مثل زبان گنجشک و نارون (خزان دار) و سرو شیراز (همیشه سبز)، درختان متحمل به خشکی مثل عرعر و بنه (خزان دار) و کاج تهران، سرو نقره‌ای و سرو خمره‌ای (همیشه سبز) و پوشش گیاهی چمن بودند. شناخت مکانیسم‌های مقاومت به خشکی در گراس‌های مختلف امکان استفاده بهتر از این ارقام را در فضای سبز شهرهای خشک و نیمه خشک فراهم می‌آورد. در واقع برای اصلاح و بهبود گونه‌های مختلف و همچنین تولید ارقام متحمل به خشکی، آگاهی از گونه‌های مقاوم به خشکی لازم و ضروری است (۱۸). در پژوهش‌های فراوان صورت گرفته تحت شرایط خشکی، اسید آمینه پرولین همواره به عنوان یک ترکیب فعال اسمزی مطرح می‌باشد که قادر است پتانسیل اسمزی را کاهش داده و فشار از دست رفته آماس را جبران کند (۸). قابل ذکر است که گزارش‌ها در مورد تأثیر تنش خشکی بر میزان کلروفیل برگ متفاوت است. افزایش، کاهش و یا عدم تغییر میزان کلروفیل برگ تحت شرایط تنش خشکی با توجه به نوع محصول، مرحله رشد، طول دوره تنش و شدت تنش خشکی متفاوت است (۷). نونامی (۲۳) نشان داد که تنش خشکی باعث افزایش فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی می‌شود. از این رو، از این ترکیبات می‌توان به عنوان شاخصی جهت انتخاب ارقام متحمل به خشکی استفاده کرد. قندهای محلول نیز از دیگر اسمولیت‌های سازگار هستند، که در شرایط خشکی تجمع یافته و ممکن است به عنوان عامل اسمزی عمل نمایند (۱۹).

با توجه به اطلاعات اندک درباره گونه‌های پوششی در فضای سبز و لزوم شناسایی گیاهان مناسب برای شرایط تنش خشکی، تحمل به تنش خشکی از لحاظ صفات بیوشیمیایی در چهار گونه گیاه پوششی جهت استفاده در فضای سبز در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مواد گیاهی، مکان آزمایش و طرح آزمایشی

این پژوهش به منظور بررسی پاسخ به کم‌آبیاری تنظیم شده در چهار گونه گیاه پوششی: فرانکینیا (*Frankenia* spp.)، شبدر سفید (*Trifolium repens*)، لولیوم پرنه (*Lolium perenne* L.) و پتنتیلا (*Potentilla* spp.) جهت استفاده در فضای سبز شهری، در محل ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۰ به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار سطح آبیاری (۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی چمن) و سه تکرار انجام گرفت.

تعداد ۴۸ گلدان پلاستیکی با قطر دهانه ۳۲ و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر تهیه و جهت سهولت خروج زه‌آب مقداری سنگریزه در ته هر گلدان ریخته شد و سپس گلدان‌ها از خاک باغچه و خاک برگ به نسبت ۱:۳ پر شدند. لولیوم پرنه به صورت کاشت مستقیم بذر و دیگر گونه‌ها به صورت نشایی در مرحله چهار برگی کشت شدند. این تفاوت به دلیل آن است که کاشت چمن لولیوم پرنه به روش مستقیم بذر در بستر اصلی انجام می‌پذیرد. در حالی که در گونه‌های دیگر، جوانه‌زنی به خوبی و با سرعت انجام گرفته ولی رشد بعدی آنها کند است. تیمارهای تنش خشکی پس از دو ماه آبیاری کامل و استقرار مطلوب گیاهان آغاز شد.

تعیین نیاز آبی گیاهان

در این آزمایش، دور آبیاری به طور ثابت دو روز یکبار با حجم متفاوت بر اساس نیاز آبی و تیمارهای تنش، در نظر گرفته شد. جهت تعیین نیاز آبی گیاه و میزان آب آبیاری مورد نیاز در هر تیمار از روش تشت تبخیر استفاده شد. برای به‌دست آوردن تبخیر- تعرق از رابطه [۳]ازمان جهانی خواروبار و کشاورزی (فائو) استفاده شد:

$$ET_0 = K_p.E_{pan} \qquad [۱]$$

که ET_0 تبخیر- تعرق گیاه مرجع، K_P ضریب تشت تبخیر و E_{pan} میزان تبخیر از تشت می‌باشد. قابل ذکر است که منظور از تیمارهای تنش شدید، متوسط، خفیف و بدون تنش به ترتیب ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی است.

صفات اندازه‌گیری شده

محتوای پرولین

برای تعیین میزان محتوای پرولین، ابتدا ۰/۱ گرم برگ تازه در هاون چینی همراه با ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳/۳٪ به خوبی سائیده و در مرحله بعد ۲ میلی‌لیتر از معرف نین هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال (خالص) به هر یک از لوله‌های محتوای عصاره و یا استاندارد افزوده شد. پیش از آن، معرف نین هیدرین با مخلوط نمودن ۱/۲۵ گرم نین هیدرین به اضافه ۲۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۶ مولار و همچنین ۳۰ میلی‌لیتر اسید استیک خالص و سپس حل نمودن آنها در حمام آب گرم آماده شد. لوله‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب جوش در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس قرار گرفته و سپس به منظور خنک شدن به داخل مخلوط آب و یخ منتقل شدند. در این مرحله، و در زیر هود، ۶ میلی‌لیتر تولوئن به هر یک از لوله‌های آزمایش افزوده و به مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه شدیداً تکان داده شدند. در نهایت، میزان جذب نور در طول موج ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه طیف سنج قرائت شد (۱۱). میزان پرولین موجود بر حسب میکرومول در هر گرم وزن تر از رابطه زیر محاسبه شد:

[۲] میکروگرم بر مول ۱۱۵/۱۷ / میزان تولوئن مصرفی (میلی‌لیتر) × میکروگرم پرولین در هر میلی‌لیتر = میکرومول در هر گرم

قندهای کل محلول

برای اندازه‌گیری قندهای محلول، مقدار ۵۰۰ میلی‌گرم نمونه برگی توزین شد. سپس طی دو مرحله، توسط ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪ استخراج عصاره صورت پذیرفت. عصاره‌ها به مدت ۱۵ دقیقه و با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ قرار داده شدند. سپس ۳ میلی‌لیتر معرف آنترون به نمونه‌ها اضافه شد. پس از اعمال ۱۰ دقیقه دمای آب جوش، میزان جذب نور در ۶۳۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. جهت تهیه محلول استاندارد در این آزمایش از گلوکز خالص استفاده گردید. برای این منظور، به ترتیب غلظت‌های صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ پی‌پی‌ام تهیه و سپس معرف آنترون به آنها اضافه شد. مطابق این روش اندازه‌گیری، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب جوش قرار گرفته و در نهایت میزان جذب نور در طول موج ۶۳۰ نانومتر قرائت گردید (۱۷).

محتوای کلروفیل

برای اندازه‌گیری میزان کلروفیل، ۲۰۰ میلی‌گرم برگ تازه از

برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته جدا و استخراج رنگدانه‌ها با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۹۹٪ انجام شد. میزان جذب در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۵۳ و ۶۶۶ نانومتر با استفاده از طیف سنج (مدل Bio Quest, CE 2502, UK) قرائت شد. در نهایت نیز بر اساس روابط زیر مقدار کلروفیل a و b محاسبه شد (۱۴):

$$CHL_a = ۱۵/۶۵\ A_{۶۶۶} - ۷/۳۴۰\ A_{۶۵۳} \quad [۳]$$

$$CHL_b = ۲۷/۰۵\ A_{۶۵۳} - ۱۱/۲۱\ A_{۶۶۶} \quad [۴]$$

$$CHL_t = CHL_a + CHL_b \quad [۵]$$

که CHL_a میزان کلروفیل a، CHL_b میزان کلروفیل b و CHL_t کلروفیل کل است.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

برای اندازه‌گیری ظرفیت تخریب رادیکال‌های فعال از روش ابی و همکاران (۶) استفاده شد. صد میلی‌گرم ماده برگی تازه در نیتروژن مایع را به صورت کامل هموژنیزه کرده و عصاره‌گیری با اتانول ۹۶٪ انجام گرفت. جهت جدا سازی مواد جامد نامحلول به مدت ۵ دقیقه با ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ انجام شد. مقدار مناسبی از محلول شفاف رویی را با ۸۰۰ میکرولیتر از محلول ۰/۵ میلی‌مولار DPPH مخلوط نموده و میزان جذب نور پس از آن که نمونه‌ها ۳۰ دقیقه تحت شرایط تاریکی نگهداری شدند در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت گردید. ظرفیت تخریب رادیکال‌های فعال با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

درصد تخریب رادیکال‌های فعال = (جذب نمونه شاهد/ جذب نمونه مورد ارزیابی – جذب نمونه شاهد) × ۱۰۰ [۶]

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه آماری داده‌های به‌دست آمده از صفات اندازه‌گیری شده و همچنین مقایسه میانگین‌ها به روش چند دامنه‌ای دانکن با استفاده از نرم‌افزار JMP4 و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL انجام شد.

نتایج و بحث

محتوای پرولین

نتایج تجزیه و تحلیل آماری محتوای پرولین بیانگر آن بود که اثر گونه و تنش خشکی بر این صفت بسیار معنی‌دار ($P<۰/۰۱$) است (جدول ۱). همچنین، برهمکنش گونه و تنش خشکی نیز در سطح احتمال۰/۰۱٪ معنی‌دار بود (شکل ۱). گونه فرانکینیا بیشترین میزان پرولین (۰/۸۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) را در بین گونه‌ها دارا بود. از طرف دیگر، تیمار ۷۵٪ تنش آبی بیشترین مقدار پرولین (۰/۸۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) را در بین تمامی سطوح رطوبتی به خود اختصاص داد (جدول ۲).

پرولین یک ترکیب تنظیم‌کننده اسمزی است که نقش عمده‌ای در مقاومت اسمزی ایفا می‌کند (۱۳). نتایج نشان داد که مقدار پرولین با افزایش شدت تنش خشکی افزایش پیدا می‌کند. آسپینال و پالگ (۸) و پدرول و همکاران (۲۵) نیز نتایج مشابهی به دست آوردند. نقش پرولین در مقاومت به خشکی بسیار پیچده و مبهم است. به گونه‌ای که برخی از محققین افزایش غلظت پرولین در زمان خشکی را صرفاً ناشی از یک صدمه و خسارت در اثر تنش می‌دانند (۸). در واقع، تجمع پرولین در شرایط تنش خشکی یک واکنش عمومی است که به علت ساخت پرولین در بافت، ممانعت از اکسیداسیون پرولین و جلوگیری از شرکت پرولین در ساخت پروتئین‌ها صورت می‌گیرد (۲۵). در تحقیقی جهت بررسی تغییرات پرولین در گونه لولیوم پرنه طی تنش خشکی مشخص شد که هر چند در بافت‌های رشدی یک تطابق معنی‌دار در اثر افزایش غلظت پرولین مشاهده می‌شود، ولی در برگ‌های پیر تجمع پرولین تنها به عنوان یک نشانگر احتمالی برای مرگ بافت مطرح است (۲۸).

قندهای کل محلول

نتایج حاصل از این آزمایش در ارتباط با میزان قندهای کل محلول، بیانگر آن است که تفاوت میان گونه‌ها در سطح احتمال خطای ۰/۱ درصد و سطوح آبیاری در سطح احتمال خطای ۱٪

جدول ۱. میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس ویژگی‌های بیوشیمیایی گیاهان پوششی مورد مطالعه تحت سطوح مختلف تنش رطوبتی

منابع تغییرات	درجه آزادی	پرولین	قندهای کل محلول	محتوای کلروفیل	فعالیت آنتی‌اکسیدانی
گونه گیاهی	۳	۰/۳۰***	۱/۴۳***	۶۳۶**	۶۹۹***
تنش رطوبتی	۳	۰/۳۹***	۰/۵۳**	۴۲۹**	۹۲۷۸***
گونه ×تنش رطوبتی	۹	۰/۰۵***	۰/۱۴^{ns}	۲۶۵*	۱۸۳**
خطا	۳۲	۰/۰۰۴	۰/۰۸	۹۷/۳	۵۶/۶

***، **، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطوح ۰/۱، ۱ و ۵ درصد و بدون اختلاف معنی‌دار

جدول ۲. مقایسه میانگین خصوصیات بیوشیمیایی گیاهان مورد مطالعه در گونه‌ها و سطوح مختلف تنش رطوبتی

		پرولین (میلی‌گرم در گرم وزن تر)	قند (میلی‌گرم در گرم وزن تر)	محتوای کلروفیل (میلی‌گرم در گرم وزن تر)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی (٪)
گونه گیاهی	چمن لولیوم پرنه	۰/۵۴ b	۱/۵۴ a	۳۱/۳ a	۳۸/۹ c
	پتتیلا	۰/۵۱ b	۱/۳۸ a	۳۱/۲ a	۵۷ a
	شبدرسفید	۰/۵۴ b	۰/۷۹ b	۲۷/۹ a	۴۶/۸ b
	فرانکینیا	۰/۸۴ a	۰/۹۹ b	۱۵/۹ b	۵۱/۱ ab
تنش رطوبتی	بدون تنش	۰/۴۱ d	۱/۲۰ a	۳۲/۶ a	۷/۸ c
	۲۵٪ تنش	۰/۵۴ c	۱/۴۰ a	۳۰/۹ a	۵۳/۸ b
	۵۰٪ تنش	۰/۶۵ b	۱/۲۰ a	۲۱/۴ b	۶۳/۸ a
	۷۵٪ تنش	۰/۸۴ a	۰/۸۹ b	۲۱/۵ b	۶۸/۵ a

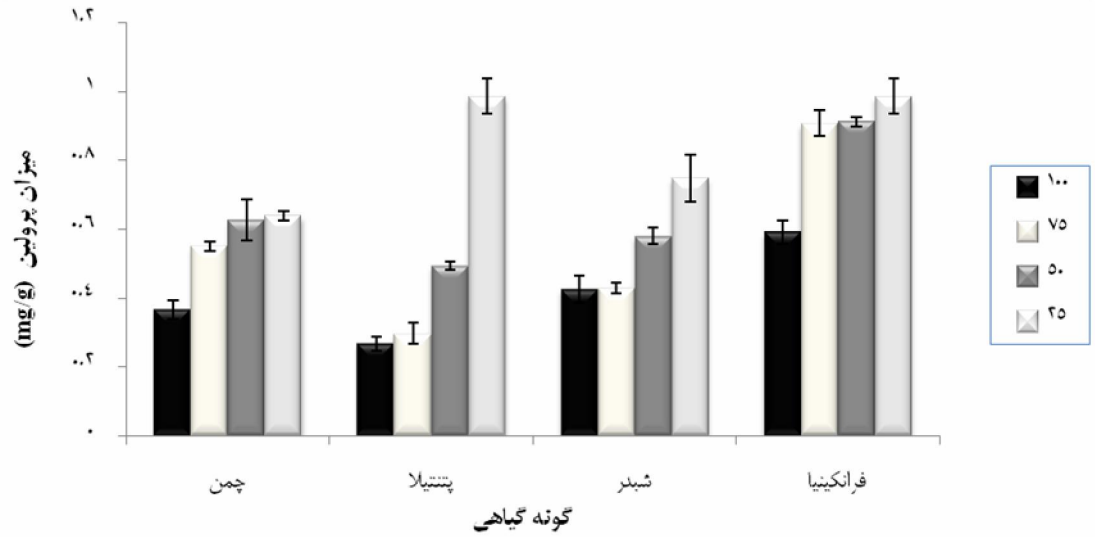
در هر ستون و برای هر عامل, اعداد دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

معنی‌دار است (جدول ۱). بیشترین و کمترین میزان قندهای کل محلول به ترتیب در گونه چمن لولیوم پرنه (۱/۵۴ میلی‌گرم در گرم وزن تر) و شبدر سفید (۰/۷۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) مشاهده شد. همچنین تیمار تنش شدید خشکی کمترین مقدار قندهای محلول (۰/۸۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر) را به خود اختصاص داد و بین دیگر سطوح رطوبتی تفاوتی مشاهده نشد (جدول ۲). برهمکنش گونه و سطوح رطوبتی برای این صفت در هیچ‌یک از سطوح آماری اختلافی نشان نداد (جدول ۱).

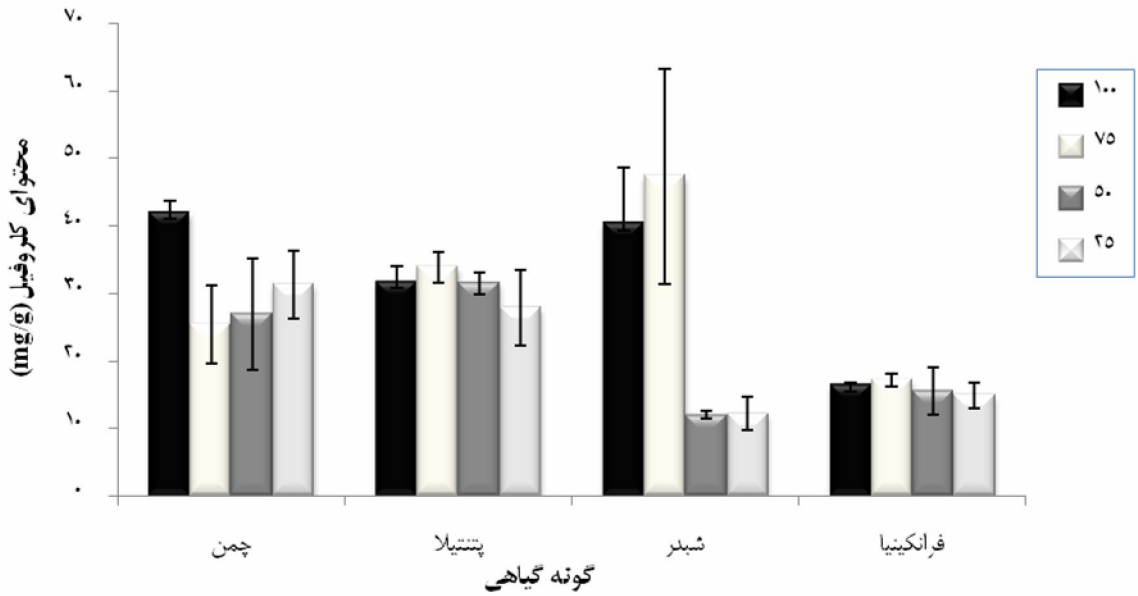
قندهای محلول در شدت‌های خفیف تنش (۲۵٪ تنش آبی)، افزایش قابل توجهی داشته و با افزایش تنش خشکی، مقدار آن شروع به کاهش گذاشت. تجمع قندهای محلول در شرایط تنش خشکی در گیاه *Pigeonpea* توسط سوبارو و همکارن (۲۷) گزارش شده است. به نظر می‌رسد علت افزایش اولیه، بالا بردن مقاومت گیاه به دلیل تنظیم فشار اسمزی سلولی بوده، ولی با شدیدتر شدن تنش، تولید بیشتر قندها کاهش پیدا می‌کند. کاهش میزان قندهای محلول در تیمارهای تنش شدید می‌تواند به دلیل مصرف قندها در ساخت متابولیت‌هایی چون پرولین در اندام هوایی باشد (۲۰). نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج عباس‌زاده (۵) روی گیاه دارویی بادرنجبویه مطابقت دارد.

محتوای کلروفیل

نتایج حاصل از اندازه‌گیری محتوای کلروفیل کل، بیانگر اختلاف معنی‌دار میان گونه‌ها و سطوح مختلف تنش خشکی

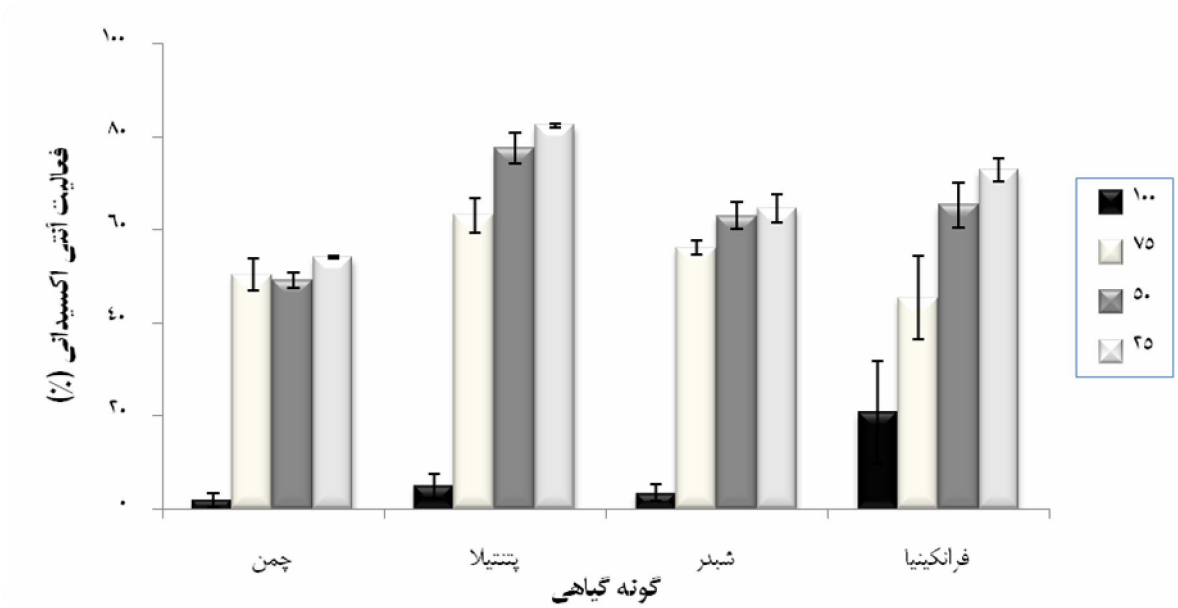


شکل ۱. برهمکنش اثر گونه و تنش خشکی بر محتوای پرولین گیاهان (علامت بار نشان دهنده ± خطای استاندارد است).



شکل ۲. برهمکنش گونه و تنش خشکی بر محتوای کلروفیل گیاهان (علامت بار نشان دهنده ± خطای استاندارد است).

بود ($P<0/01$) (جدول ۱). گونه فرانکینیا کمترین میزان کلروفیل (۱۵/۹ میلی‌گرم درگرم وزن تر) را به خود اختصاص داد. از طرف دیگر، کمترین میزان کلروفیل مربوط به تیمارهای ۷۵٪ و ۵۰٪ تنش آبی بود (جدول ۲). همچنین، برهمکنش اثر گونه و تنش خشکی نیز در این آزمایش در سطح احتمال خطای ۵٪ معنی‌دار بود (شکل ۲). به طور کلی، مقدار کلروفیل به عنوان یک معیار بسیار مفید همواره برای ارزیابی وضعیت فیزیولوژیک گیاه مورد توجه قرار می‌گیرد (۲۱). ژیانگ و هوانگ (۲۱) محتوای کلروفیل در گیاهان زنده را یک عامل مهم جهت تعیین ظرفیت فتوسنتزی دانسته‌اند. در واقع، محتوای کلروفیل برگ به افزایش سطوح تنش خشکی واکنش نشان می‌دهد. به طوری که کمترین مقدار کلروفیل در تیمار تنش شدید خشکی به دست آمد. فتوسنتز به دو شکل تحت تأثیر تنش خشکی قرار می‌گیرد: یکی بسته شدن روزنه‌ها، که منجر به



شکل ۳. برهمکنش گونه و تنش خشکی بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان (علامت بار نشان دهنده ± خطای استاندارد است).

تأمین نشدن CO_2 لازم برای فعالیت کلروپلاست‌ها می‌شود و دیگری اثر مستقیم خشکی نیز می‌باشد به صورت تخریب کلروفیل‌ها قابل مشاهده است. گونه‌های فعال اکسیژن که در زمان خشکی در گیاه تولید شده می‌توانند سبب تخریب سیستم فتوسنتزی و در نهایت تجزیه کلروفیل شوند (۲۶). طبق نظر بعضی از محققین (۲۱)، کاهش سطوح کلروفیل در گیاهان تحت تنش می‌تواند به افزایش فعالیت آنزیم تخریب کننده کلروفیل (کلروفیلاز)، مربوط باشد (۱۲).

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج حاصل از پژوهش حاضر در ارتباط با فعالیت آنتی‌اکسیدانی نشان دهنده اثر معنی‌دار تنش خشکی بر این صفت بود ($P<$۰/۰۱) (جدول ۱). بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مشاهده شده (۶۸/۵٪) مربوط به تیمار شدید خشکی و کمترین مقدار آن (۷/۸٪) مربوط به تیمار شاهد بود. نتایج نشان دهنده یک روند افزایشی از تیمار شاهد تا تنش شدید خشکی است (جدول ۲). همچنین اثر متقابل گیاه و تنش خشکی نیز بسیار معنی‌دار بود ($P<$۰/۰۱). به گونه‌ای که با افزایش تنش در تمامی گونه‌ها، میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت (شکل ۲). حبیبی و همکاران (۱۶) نشان دادند که فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابد که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در بسیاری از گیاهان، جهت کاهش آثار مخرب رادیکال‌های آزاد ناشی از تنش، سیستم آنتی‌اکسیدانی فعال می‌گردد. به این ترتیب، مطابق با نتایج حاصل از این پژوهش، با افزایش سطوح تنش، فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان نیز افزایش می‌یابد. این رویکرد نشان دهنده سازوکار تحمل در برابر تنش می‌باشد. هر چه میزان ترکیبات مؤثر در فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه بیشتر باشد، توانایی گیاه جهت خنثی سازی اثر مخرب رادیکال‌های آزاد اکسیژن در پراکسیده کردن لیپیدها، پروتئین‌ها و حتی اسیدهای نوکلئیک و نهایتاً تحمل به تنش بیشتر است.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای پرولین در پاسخ به تنش خشکی با یک شیب ملایم افزایش یافت. در مورد دو صفت قندهای محلول و محتوای کلروفیل تا تنش شدید (۷۵٪ تنش) تأثیر چندانی مشاهده نشد. دو گونه فرانکینیا و پنتیلا توانستند با تولید پرولین بیشتر تحت

شرایط تنش خشکی نسبت به سایر گونه‌ها پتانسیل اسمزی خود را پایین نگه داشته و نسبت به خشکی تحمل بیشتری را نشان دهند. بنابراین، با در نظر گرفتن خشکسالی‌های مداوم و هر ساله، بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشکی مانند ایران، به نظر می‌رسد مدیریت آب و یا به عبارت دیگر مدیریت تنش در فضاهای سبز از اهمیت خاصی برخوردار باشد. در جمع‌بندی می‌توان گفت همه گونه‌های مورد مطالعه در جایگاه خود با داشتن برتری در صفات اندازه‌گیری شده نسبت به چمن، برای استفاده در فضاهای سبز شهری و بوستان‌های عمومی تناسب بهتری داشته ولی کاربری آنها متفاوت است.

منابع مورد استفاده

۱. اذانی، م.، م. عبدیان راد و م. ملکی. ۱۳۸۸. برنامه ریزی فضای سبز شهری با تاکید بر مناطق گرم و خشک جنوب ایران. فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی ۹ (۳۱): ۱-۲۶.

۲. اسپیدکار، ز. ۱۳۸۱. بررسی ویژگی‌های مورفولوژیکی گندمیان برای فضای سبز در مناطق ساحلی دریای مدیترانه. دانش کشاورزی ۱: ۲-۸.

۳. دومیری گنجی، ح.، س. بابائی، ا. متاجی و ف. رشیدی. ۱۳۸۹. ارزیابی تغییرات فضای سبز منطقه ۲ تهران با استفاده از عکس‌های هوایی و داده‌های ماهواره‌ای. فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی ۵ (۲): ۱۳-۲۴.

۴. زهتابیان، غ. و ع. فرشی. ۱۳۷۸. برآورد نیاز آبی گیاهان فضای سبز در مناطق خشک (مطالعه موردی: کاشان). مجله منابع طبیعی ایران جلد ۵۲ (۲): ۶۳- ۷۵.

۵. عباس زاده، ب.، ا. شریفی عاشورآبادی، م. لباسچی، م. نادری حاجی باقری کندی و ف. مقدمی.۱۳۸۶. اثر تنش خشکی بر میزان پرولین، قندهای محلول، کلروفیل و آب نسبی بادرنجبویه. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۳ (۴): ۵۰۴-۵۱۳.

6. Abe, N., T. Murata and A. Hirota.1998. Novel 1,1-diphenyl-2-picryhy- drazyl- radical scavengers, bisorbicillin and demethyltrichodimerol, from a fungus. Biosci., Biotechnol. and Biochemi. 62: 661-662.
7. Antolin, M., C. Yoller and M. Sanchez- Diaz. 1995. Effects of temporary drought on nitrate- fed and nitrogen- fixing alfalfa plants. Plant Sci. 107: 159-165.
8. Aspinall, D. and I.G. Paleg. 1981. Proline accumulation: physiological aspects. PP: 205-241. *In:* I.G. Paleg, and D. Aspinall. (Eds.). Physiology and Biochemistry of Drought Resistance. Academic Press.
9. Auge, R.M., X. Duan, J.L. Croker, W.T. Witter and C.D. Green. 1998. Foliar dehydration tolerance of twelve deciduous tree species. J. Experim. Bot. 32: 753-759.
10. Barbosa, Olga, et al .2007. Who benefits from access to green space? A case study from Sheffield, UK, Landscape and Urban Planning Journal, No. 83, available at: www.sciencedirect.com.
11. Bates, L. S., R.P. Waldran. and I.D. Teare. 1973. Rapid determination of free proline for water studies. J. Plant Soil 39: 205–208.
12. Bertrand, M. and B. Schoefs.1999. Photosyntetic pigment metabolism in plants during stress. PP: 527-543 *In:* M. Pessarakli (ed.), Handbook of Plant and Crop Stress Marcel Dekker.
13. Demir, Y. 2000. Growth and proline content of germinating wheat genotypes under ultraviolet light, Turkish. J. Bot. 24: 67–70.
14. Dere, S., T. Gunes and R. Sivaci.1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll - a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. J. Bot. 22: 13-17.
15. Easton, C.L. and S. Kleindorfer. 2009. Effects of salinity levels and seed mass on germination in Australian species of *Frankinia* L. (Frankiniaceae). Environ. Exp. Bot. 65: 345-352.
16. Habibi, D., M.R. Ardakani, M. M. Boojar, D. E. Taleghani and A. Mahmoodi. 2004. Antioxidative in sunflower subjected to drought stress. 4th International Crop Science Congress. 26 sep to 10 Oct. Australia.
17. Hedge, J.E Z. and B.T. Hofreiter. 1962. Carbohydrate Chemistry. PP. 17-22. *In:* R. L. Whistler & B. Miller (Eds.), Academic Press.
18. Huang, B., R. R. Duncan and R. N. Carrow. 1997. Drought resistance mechanisms of sevsn warm season

turfgrasses under surface soil drying II. root aspect. Crop Sci. 37: 1863-1869.
19. Ingram, J. and D. Bartels.1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. Annu. Rev. of Plant Physiol. and Mol. Biol. 47: 337-403.
20. Irrigoyen, J.J., D.W. Emerich and D.M. Sanchez.1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in modulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum 84: 55-60.
21. Jiang, Y. and N. Huang. 2001. Drought and heat sress injury to two cool-season turfgrasses in relation to antioxidant metabolism and lipid peroxidation. Crop Sci. 41: 436-442.
22. Khalil, M., N.R. Bhat, M.S. Abdal, R. Grina, L. Al-mulla, S. Al-Dossery, R. Bellen, R. Cruz, G. D'Cruz, A. George and A. Christopher. 2006. Evaluating the suitability of groundcovers in the arid environments of Kuwait. European. J. Sci. Res. 15: 412-419.
23. Nonami, H. 1998. Plant water relations and control of cell elongation at low water potential. J. Plant Res. 111: 373-382.
24. Ozturk M. and M.S. Sakcali. 2004. Eco-physiological behavior of some Mediterranean plants as suitable candidates for reclamation of degraded areas. J. Arid Environ. 57(2): 141-153.
25. Pedrol, N., P. Ramos and M.J. Riegosa. 2000. Phenotypic plasticity and acclimation to water deficits in velvet-grass: a long-term greenhouse experiment. Changes in leaf morphology, photosynthesis and stress-induced metabolites. Plant Physiol. 157:383-393.
26. Smirnoff, N. 1993. The role of active oxygen in the response of plant to water deficit and desiccation. New Phytol. 125: 27-58.
27. Subbaro, G., N.H. Nam, Y.S. Chauhan and C. Johansen. 2000. Osmotic adjustment, water relation and carbohydrate remobilization in pigeon pea under water deficits. J. Plant Physiol. 157: 651-659.
28. Thomas, H. 1991. Accumulation and consumption of solutes in swards of Lolium perenne During drought and after rewatering. New Phytol. 118:35-48.