فصلنامه علوم محیطی، دوره چهاردهم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۵

۲۹-۴۴

ارزیابی مقاومت برخی گونه‌های گیاهی به سرما و خشکی برای کاربرد در بام‌های سبز گسترده در شرایط اقلیمی مشهد

نوید وحدتی مشهدیان، علی تهرانی‌فر* و فاطمه کاظمی

گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۷ تاریخ پذیرش: ۹۵/۹/۱۵

وحدتی مشهدیان، ن.، ع. تهرانی‌فر و ف. کاظمی. ۱۳۹۵. ارزیابی مقاومت برخی گونه‌های گیاهی به سرما و خشکی برای کاربرد در بام‌های سبز گسترده در شرایط اقلیمی مشهد. فصلنامه علوم محیطی. ۱۴ (۴): ۲۹-۳۴.

سابقه و هدف: دستیابی به گیاهانی که در محیط رشد پرتنش یک بام سبز گسترده به‌ویژه در مناطقی با اقلیم خشک، بتوانند بقای خود را حفظ کنند، یک چالش جدی است.

مواد و روش‌ها: این تحقیق به چگونگی انتخاب گیاهان مناسب برای بام‌های سبز گسترده در شرایط سرمای طبیعی در فصول سرد (پاییز و زمستان) به صورت آزمایش بلوک‌های کامل تصادفی و به دنبال آن بررسی اثر تنش خشکی به صورت سه دور زمانی آبیاری (۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت) به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در فصول گرم سال (بهار و تابستان) در مشهد می‌پردازد.

نتایج و بحث: نتایج هر دو آزمایش نشان داد اثر گونه در فصول سال معنی‌دار است. بید گیاه، شبنمی و دم‌عقربی بهترین کیفیت بصری را در هر گروه نشان دادند. از نظر بقا دم‌عقربی بهترین گزینه برای مشهد در هر دو فصل سرد و گرم سال و به دنبال آن شبنمی و پنجه‌برگی قرار گرفتند. پیچ تلگرافی برای فصول سرد و ناز قرمز گزینه فوق‌العاده‌ایی برای فصول گرم سال هستند. گراس‌های چمنی و زمین‌پوش نیاز به آبیاری منظم در فصل گرم داشته و از نظر تیمارهای آبیاری تفاوت چشمگیری را نشان دادند، اما گیاهان ناز پاسخ بسیار مطلوبی نسبت به سطوح تنش خشکی نشان دادند. در مجموع گیاهان ساقه‌گوشتی (succulent) و زمین‌پوش به ترتیب برای استفاده در فصول گرم و سرد مناسب‌تر بوده و چمنی‌های کپه‌ای توصیه نمی‌شوند.

نتیجه‌گیری: بنابر نتایج حاصل از این تحقیق، بام‌های سبز با در نظر گرفتن ملاحظاتی چند می‌توانند بام‌های سبز نسبتا پایداری را برای اقلیم مشهد نوید دهند.

واژه‌های کلیدی: تنش‌های محیطی، فضای سبز شهری، پاسخ‌های فصلی، بام سبز گسترده.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: tehranifar@um.ac.ir

مقدمه

بام‌های پوشیده از گیاه با دو واژه در منابع یاد شده‌اند. بام سبز یا سقف زنده، بامی از یک ساختمان است که به صورت کامل یا بخشی از آن با پوشش گیاهی و بستر رشد بر فراز یک لایه ضدآب قرار گرفته باشد و باغ بام هر گونه باغی روی یک بام است. بام‌های سبز به صورت فزاینده و روبه‌رشد در شهرها گسترش می‌یابند، زیرا راهبردی مهم در پرداختن به برخی از نکات کلیدی در محیط شهری محسوب می‌شوند. بام‌های سبز توانایی کاهش رواناب سطحی، ایجاد یک حیات‌وحش طبیعی، تعدیل اثر جزیره گرمایی، بهبود ساختار بناها و کارایی انرژی، بهبود کیفیت هوا، ایجاد منظره زیبا، ایجاد محیطی برای تولید محصولات خوراکی و عایق سقف را دارد (Mac Donagh, 2006). محدودیت منابع آب، نوسان بالای دما و در معرض قرار داشتن بام نسبت به باد و تابش خورشیدی محیط رشد پرتنشی را برای گیاهان در بام‌های سبز ایجاد می‌کند. در نتیجه طیف محدودی از گیاهان قابلیت کشت در بام‌های سبز را دارند. قدرت تحمل خشکی در فصل تابستان مهمترین عامل در گزینش گیاهان برای بام سبز به‌ویژه در مکان هایی که آبیاری کم است، به شمار می‌آید (Dunnett and Kingsbury, 2008). بنابراین، بقا در دوره‌های خشکی تعیین‌کننده تناسب کاربرد گیاه در بام‌های سبز به‌ویژه در مناطق گرم و خشک است (Snodgrass and Sondgrass, 2006). گونه‌های گل ناز (*sedum*) معمولی‌ترین گیاهان مورد استفاده در بام‌های سبز هستند (White and Snodgrass, 2003)، زیرا سازگاری بسیار بالایی نسبت به مناطق خشک دارند (Van Woert, 2005) و (Nagase and Dunnett, 2010). طبیعت همیشه سبز گونه‌های کم ارتفاع سدوم امکان پوشش تمام سال بام سبز را فراهم کرده و سهولت تکثیر، آنها را در سطح تجاری به گزینه‌های بسیار باارزشی برای بام‌های سبز بدل کرده است. امروزه توجه بسیاری به افزایش تنوع گونه‌های گیاهی مورد استفاده در بام سبز با تاکید ویژه بر گیاهان بومی، معطوف شده است (Snodgrass and Snodgrass, 2006). زیبایی، یکی از جنبه‌های مهم در ظاهر و عملکرد بام سبز به شمار می‌آید که می‌تواند بر پذیرش طولانی مدت آن در نظر انسان‌ها موثر باشد. در این راستا گزینش گیاهان مناسب با بقا طولانی مدت، پوشش‌دهی سریع و گستره فنولوژیکی از گل ها می‌تواند سبب بهبود این جنبه پراهمیت شود. بررسی‌های طولانی‌مدت علمی و تجربی، متخصصان را بر آن داشته تا نسبت به گزینش گیاهان بام سبز توصیه‌هایی ارائه کنند. این گیاهان باید استقرار سریع و ارتفاع کم، پوشش پیوسته و فرشی با برگ‌های گوشتی دارای قابلیت نگهداشت آب، ریشه‌های کوچک و گسترده و با قابلیت تکثیر آسان داشته باشند (Guervitch *et al.*, 1986; Terri *et al.* 1986; Stephenson 1994; Bousselot *et al.*, 2009).

بام‌های سبز در ایران یک فناوری نسبتا نوین بوده و اطلاعات اندکی درباره گزینش گیاه و دیگر جنبه‌های آن در اختیار است. بنابراین، این تحقیق برای شناسایی گیاهانی با قابلیت بقا در سرمای فصول سرد و خشکی فصول گرم در شرایط اقلیمی شهر مشهد برای توصیه کاربرد گسترده در دیگر مناطق مشابه طی سال‌های ۱۳۹۳-۹۴ در مزرعه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

شرایط و مکان اجرای آزمایش

مشهد دومین شهر بزرگ و پرجمعیت ایران در شمال شرق کشور با اقلیمی نیمه‌خشک، زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک است (ارتفاع از سطح دریا ۹۹۵ متر، مختصات جغرافیایی، ۳۶ درجه و ۱۸

دقیقه شمالی، ۵۹ درجه و ۳۶ درجه شرقی). این آزمایش روی بام ساختمانی به ارتفاع ۳ متر در چهار فصل متوالی انجام شد. این تحقیق به انتخاب گیاهان مناسب برای بام سبز با استفاده از تنش سرما به طور طبیعی در فصول سرد به صورت آزمایش بلوک‌های کامل تصادفی و تنش خشکی به‌صورت دور آبیاری در سه سطح (۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت) و حجم ۳ لیتر در هر بار آبیاری به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در فصول گرم سال، در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد طی سال‌های ۱۳۹۳-۹۴ می‌پردازد. گیاهان مورد بررسی از سه گروه انتخاب شدند: گراس‌های چمنی شامل بیدگیاه (*Agropyron cristatum*)، (*Festuca arundinacea*)، فستوکا آبی (*Festuca ovina*)؛ زمین‌پوش‌های غیرگوشتی شامل شبنمی (*Frankenia thymifolia*)، پیچ تلگرافی (*Vinca minor*) و پنجه‌برگی (*Potentila* sp.)؛ و گیاهان ساقه‌گوشتی شامل ناز گرزی (*Sedum acre*)، ناز قرمز (*Sedum spurinum*) و دم‌عقربی (*Carpobrotus edulis*). اندازه‌گیری صفات به صورت فصلی (در انتهای هر فصل) انجام شد. برای آماده‌سازی و اجرای آزمایش، جعبه های پلاستیکی به ابعاد ۳۰×۵۰ سانتی‌متر با عمق ۳۰ سانتی‌متر تهیه و لایه‌های بام سبز (زهکش، فیلتر ژئوتکستایل، بستر رشد و گیاهان) در آن تعبیه شد. با توجه به آنکه بستر بام سبز با در نظر داشتن شرایط اقلیمی و محیطی مشهد باید ترکیبی باشد که هم گیاهان را به خوبی در خود حفظ و حمایت کند و هم ظرفیت نگهداری آب مناسب را داشته و سبک‌وزن نیز باشد (Peter *et al*., 2010)، بستر رشد مورد استفاده ترکیبی از خاک باغچه، ماسه، پوکه آتشفشانی و پرلایت با نسبت‌های ۴۰، ۲۰، ۲۰ و ۲۰٪ وزنی بود. جعبه های آزمایش پس از کاشت، استقرار و آماده شدن به محل انجام تحقیق منتقل شده و در پاییز ۱۳۹۳ به صورت طرح آزمایشی مورد نظر چیده شدند.

صفات مورد بررسی

محتوی نسبی آب برگ بر اساس روش (Barrs and Weaterley, 1962)، محتوی کلروفیل بر اساس روش (Dere *et al*., 1998)، ظرفیت خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد از روش (Abe *et al*., 1998)، محتوی پرولین بر اساس روش (Bates *et al*., 1973)، فنل کل بر اساس روش (Singleton and Rossi, 1965) و کیفیت بصری مبتنی بر نمره‌دهی بر اساس میزان تخریب گیاه (۵-۱۰۰، ۴-۷۵، ۳-۵۰، ۲-۲۵ و ۱-۰ درصد بقا) ثبت شد (Nagase and Dunnett, 2010).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس داده های حاصل از آزمایش با نرم‌افزار JMP4 و رسم نمودارها نیز با نرم‌افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین صفات با استفاده از آزمون چند دامنه دانکن در سطح احتمال ۵٪ با نرم‌افزار JMP4 صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق در مراحل گوناگون و فصول سرد و گرم در جدول‌های ۳ تا ۱۰ نشان داده شده است. نتایج حاکی از تفاوت‌های معنی‌دار و پاسخ‌های قابل‌توجه در بین گیاهان مورد آزمایش است.

فصل پاییز-بقا

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار ($p\leq0.01$) بین گونه های گیاهی مورد استفاده از نظر بقا در فصل پاییز است (جدول ۳). در این بین *Festuca arundinacea*، شبنمی و دم‌عقربی

بالاترین کیفیت ظاهری را در شرایط سرما از خود نشان دادند، ولی سدوم قرمز توانایی تحمل سرما نداشت و اندام هوایی آن به کلی از بین رفت و سدوم گرزی، فستوکای آبی و پیچ تلگرافی کمی به سختی ا ستقرار یافتند (جدول ۴). به‌طورکلی به نظر می‌رسد، گیاهان چمنی و زمین‌پوش‌های غیرگوشتی (non-succulent) گزینه‌های مناسب‌تری برای بام سبز در شرایط پاییز مشهد هستند.

جدول ۱- ویژگی‌های اقلیمی مشهد در دوره آزمایش بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی ایران

Table 1. Meteorological properties of Mashhad during the study period

	دی Junuary	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June	تیر July	مرداد August	شهریور September	مهر October	آبان November	آذر December
متوسط دما (°C) Mean temperature (°C)	6.81	4.21	9.85	15.52	23.13	29.74	32.49	28.67	23.84	14.59	7.41	5.31
رطوبت نسبی (%) Relative humidity (%)	61.31	67.21	70.82	48.61	43.50	21.48	23.25	23.59	30.64	52.10	57.58	62.25

جدول ۲- جدول تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش سرمای طبیعی پاییز

Table 2. Analysis of variance of the visual and biochemical indices measured for chilling tolerance in the autumn season in Mashhad

	درجه آزادی df	محتوی نسبی آب برگ Relative water content	کلروفیل آ Chlorophyll a	کلروفیل ب Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity	فنول کل Phenol	پرولین Proline	نمره‌دهی بصری Visual quality
بلوک	3	508.62*	1.25ns	2.60 ns	0.69 ns	1.49 ns	197.48*	3.77 ns	0.19 ns	0.7 ns
گونه Species	8	1839.81**	67.05**	5.01ns	6.06**	156.37**	1864.73**	36.92**	11.92**	7.59**
خطا	24	204.87	7.27	5.98	0.59	5.41	108.04	3.16	0.43	0.26
کل	35									
ضریب تغییرات CV		55.72	64.93	63.86	83.19	80.04	54.29	28.11	49.12	37.78

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ ٪ و ns بی‌معنی است.

*, ** indicate significance at P < 0.05, 0.01, respectively, ns, not significant

شاخص‌های بیوشیمیایی

میانگین شاخص‌های بیوشیمیایی در پاسخ به سرمای پاییز در جدول ۲ نشان داده شده که حاکی از تفاوت معنی‌دار آنها بین گونه‌هاست. بیدگیاه بیشترین مقادیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوی کلروفیل و کاروتنوئید را نشان داد. *Festuca arundinacea* و فستوکای آبی بیشترین مقدار کلروفیل ب و فنل کل را بروز دادند. این نتایج همگی بیانگر تحمل بالای این گونه‌ها نسبت به سرما و حفظ کیفیت مورد نظر در این فصل است. زمین‌پوش‌های غیرگوشتی نیز مقاومت بالا و سطوح قابل قبولی از شاخص‌های بیوشیمیایی را نشان دادند. همگی این گیاهان دارای محتوی کلروفیل و محتوی نسبی آب برگ بالایی بودند و شبنمی همچنین بالاترین میزان محتوی پرولین را به خود اختصاص داد. تنها پیچ تلگرافی به خوبی استقرار نیافت و بنابراین کیفیت خیلی مطلوبی نداشت. زمین‌پوش‌های گوشتی به جز دم‌عقربی بقای خوبی در فصل سرما نداشتند و شاخص‌های مطلوب بیوشیمیایی را نیز نتوانستند بروز دهند. البته در ناز گرزی (*Sedum acre*) و قرمز تنها اندام هوایی از بین رفته و جوانه‌های موجود در طوقه سالم ماندند که این امر سبب رشد مجدد آنها در بهار سال بعد شد. بنابراین، شاید بتوان این گیاهان را در شرایط اقلیمی مشهد گیاهی همیشه سبز دانست. گیاه دم‌عقربی محتوی کلروفیل و فنل کل بالایی را در این فصل از خود نشان داد.

فصل زمستان-بقا

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار ($p\leq0.01$) بین گونه‌های گیاهی مورد استفاده از نظر بقا در فصل زمستان است (جدول ۴). در این بین *Festuca arundinacea*، بیدگیاه، شبنمی و دم‌عقربی بالاترین کیفیت ظاهری را از خود نشان داده و ناز گرزی و ناز قرمز توانایی تحمل سرما را نداشتند و اندام هوایی در آنها به کلی از بین رفت و فستوکای آبی و پیچ تلگرافی کمی با زحمت استقرار یافتند (جدول ۵). به‌طورکلی به نظر می‌رسد، گونه‌های چمنی و زمین‌پوش‌های غیرگوشتی گزینه‌های مناسب‌تری برای بام سبز در زمستان مشهد هستند.

شاخص‌های بیوشیمیایی

میانگین شاخص‌های بیوشیمیایی در پاسخ به سرمای زمستان در جدول ۵ نشان داده شده است که حاکی از تفاوت معنی‌دار آنها بین گونه‌هاست. آگروپایرون بیشترین مقادیر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، محتوی کلروفیل و پرولین را به خود اختصاص داد. گیاه *Festuca arundinacea* محتوی کلروفیل بالا و فستوکا آبی تنها محتوی پرولین بالایی را نشان دادند. این نتایج همگی بیانگر تحمل بالای این گونه‌ها نسبت به سرما و حفظ کیفیت مورد نظر در این فصل است. اگرچه بعضی از علائم زرد شدن در اثر سرما نیز مشاهده شد.

زمین‌پوش‌های غیرگوشتی نیز مقاومت بالا و سطوح قابل قبولی از شاخص‌های بیوشیمیایی را نشان دادند. همگی این گیاهان دارای محتوی کلروفیل، فنل کل و محتوی نسبی آب برگ بالایی بودند (جدول ۵). گیاه شبنمی فنل کل بالا و پیچ تلگرافی و پنجه‌برگی، محتوی نسبی آب برگ و فعالیت آنتی‌اکسیدانی مطلوبی را نشان دادند. گیاهان گوشتی به جز دم‌عقربی تاب سرمای زمستانه را نداشتند و اندام هوایی در آنها به‌کلی از بین رفت. رشد سدوم گرزی تقریبا متوقف شد اما دم‌عقربی عملکرد نسبتا مناسبی داشت (جدول ۵).

جدول ۳- جدول مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمایش سرمای طبیعی پاییز

Table 3. Mean comparison for survival and biochemical indices measured for chilling tolerance in the autumn season in Mashhad

Proline (Micromole)	mg/g) Phenol (FW	(٪) AA	Chlorophyll) mg/g FW (	) Carotenoid (mg/g FW	Chlorophyll b (mg/g FW)	Chlorophyll a (mg/g FW)	Electrolyte (٪) eakageL	Relative Water (٪) Content	گونه Species
1.40de	5.23ab	87.88a	21.92a	3.78a	4.13a	14.00a	49.65abc	42.69ab	*Agropyron cristatum*
4.48cd	7.36ab	84.87b	16.87b	2.90ab	3.78a	10.18b	20.53cd	42.28b	*Festuca ovina*
1.18e	3.62b	73.85de	8.73cd	1.32cd	1.95a	5.45cde	53.82ab	10.81c	*Festuca arundinacea*
4.72a	11.71ab	87.70cd	11.79c	1.21d	4.17a	6.41cd	38.34bcd	46.81ab	*Frankenia thymifolia*
1.14bc	8.56a	91.08b	17.07ab	2.40bc	3.44a	11.21ab	40.51abcd	63.06ab	*Potentila sp.*
0.81ab	10.68a	87.65c	13.15c	2.40bc	2.79a	7.95bc	31.44bcd	54.37ab	*Vinca minor*
0.24de	5.03a	94.96ef	5.54d	0.51d	1.71a	3.31de	15.12d	63.83ab	*Sedum acre*
0.11e	3.19c	25.72f	3.38e	0.47d	1.19a	1.91e	73.03a	8.40c	*Sedum spurium*
0.75de	5.18a	94.17ef	5.80d	0.27d	2.09a	3.23de	38.19bcd	64.84a	*Carpobrotus edulis*

حروف غیر مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال خطای ۵ درصد بیانگر اختلاف معنی‌دار است.

Means with the same letter are not significantly different

جدول ۴- جدول تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش سرمای طبیعی در زمستان

Table 4. Analysis of variance of the visual and biochemical indices measured for chilling tolerance in the autumn season in Mashhad

نمره‌دهی بصری Visual quality	پرولین Proline	فنول کل Phenol	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity	کلروفیل کل Chlorophyll total	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل ب Chlorophyll b	کلروفیل آ Chlorophyll a	محتوی نسبی آب برگ Relative water content	درجه آزادی df	
0.074ns	0.14ns	1.37*	22.76ns	0.71ns	5.96ns	20.8ns	10.4ns	53.18ns	3	بلوک
9.46**	12.72**	9.12**	1628.60**	439.77**	16.16*	104.08**	163.26**	1449.77**	8	گونه
0.095	0.23	0.8	23.78	12.97	4.84	30.14	7.26	172.26	24	خطا
									35	کل
39.57	86.07	30.98	25.97	34.99	42.70	52.94	60.47	36.95		ضریب تغییرات

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ ٪ و ns بی‌معنی است.

*, ** indicate significance at P < 0.05, 0.01, respectively, ns, not significant

فصل بهار-بقا

نتایج حا صل از تجزیه واریانس داده‌ها ن شان داد، اثر گونه، آبیاری و اثر متقابل آنها بر بقا در فصل بهار معنی‌دار است (جدول ۶) ($p\leq0.01$). آبیاری تاثیر بسزایی بر بقا در گراس‌های چمنی و زمین‌پوش‌های غیرگوشتی گذاشته، هر چند هیچ کدام از گیاهان گوشتی تحت تاثیر قرار نگرفتند. بر این اساس این گیاهان دارای برترین رتبه‌های کیفیت ظاهری در بین گیاهان در این آزمایش شدند. تمامی گراس‌های چمنی کپه‌ای به همراه پیچ تلگرافی با گرم و خشک شدن هوا

توانایی بقا در بهار را از دست داده و شبنمی و پنجه‌برگی به سختی بقا یافتند.

در ارتباط با اثرات متقابل بهترین نتیجه در گیاهان گوشتی با تیمار آبیاری شاهد (دور آبیاری ۴۸ ساعت) به دست آمد. از سوی دیگر، کمترین مقدار عددی شاخص بقا در پیچ تلگرافی و تیمار تنش شدید (دور آبیاری ۹۶ ساعت) مشاهده شد. گراس‌های چمنی و زمین‌پوش‌های غیرگوشتی گیاهانی حساس در بهار تشخیص داده شدند ولی گیاهان گوشتی بسیار مقاوم بوده و هیچ نوع کاهش رشد در آنها مشاهده نشد (شکل ۱). بقا در گیاهانی که با سطح اول و دوم آبیاری تیمار شدند تفاوت چندانی نداشت اگرچه این عامل روند کاهشی نشان داد. اما با حرکت از سطح دوم به سوم و شدت یافتن تنش خشکی در شرایط فصل گرم، کاهش شدیدی در بقای گیاهان رخ داد. این حالت در گیاهان زمین‌پوش گوشتی با شیب ملایم‌تری اتفاق افتاد و در بعضی موارد مانند سدوم قرمز هیچ کاهشی به چشم نخورد (شکل ۱). در مجموع به نظر می‌رسد، ابتدا زمین‌پوش‌های گوشتی و سپس زمین‌پوش‌های غیرگوشتی گزینه‌های مناسبی برای فصول گرم در مشهد بوده و برای شرایط اقلیمی این شهر دور آبیاری در بام‌های سبز با شرایط مشابه نباید از ۷۲ ساعت بیشتر شود. در غیر این صورت، خسارت شدیدی به گیاهان وارد می‌شود.

جدول ۵- جدول مقایسه میانگین داده‌های حاصل از آزمایش سرمای طبیعی در زمستان

Table 5. Mean comparison for survival and biochemical indices measured for chilling tolerance in the winter season in Mashhad

Proline (Micromole)	Phenol (mg/g FW)	Antioxidant Activity (٪)	Chlorophyll total (mg/g FW)	Carotenoid (mg/g FW)	Chlorophyll b (mg/g FW)	Chlorophyll a (mg/g FW)	Relative Water Content (٪)	گونه Species
4.82a	5.62bcd	85.82ab	32.46a	1.31c	18.66ab	12.49c	53.30bc	*Agropyron cristatum*
2.51b	5.20cd	79.23b	32.13a	4.08a	9.06c	18.99a	46.49cd	*Festuca ovina*
4.74a	3.51e	61.78c	25.30b	2.23b	9.46c	13.61bc	48.71c	*Festuca arundinacea*
2.70b	7.37a	85.34ab	34.25a	-	19.75a	15.14abc	28.79d	*Frankenia thymifolia*
1.32c	6.47abc	87.65a	24.97b	1.72c	11.42bc	11.82c	69.54ab	*Potentila* sp.
1.07c	6.82ab	85.01ab	36.54a	0.32d	19.76a	16.45ab	48.22c	*Vinca minor*
0.31d	4.95d	85.72a	15.09c	1.92c	6.65c	6.53d	75.69a	*Sedum acre*
0.23d	2.69e	26.77d	9.61d	-	9.79c	2.02e	23.00e	*Sedum spurium*
0.63cd	5.53bcd	86.56a	10.12cd	-	11.01bc	0.72e	88.07a	*Carpobrotus edulis*

حروف غیر مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال خطای ۵ درصد بیانگر اختلاف معنی‌دار است.

Means with the same letter are not significantly different

شاخص‌های بیوشیمیایی

میانگین شاخص‌های بیوشیمیایی در پاسخ گیاهان به رژیم‌های آبیاری در بهار در جدول ۶ نشان داده شده است. فصل گرما با افزایش نسبی دما و کاهش بارندگی و رطوبت هوا به‌ویژه از بهار به سمت تابستان آغاز می‌شود. به همین دلیل گیاهان گراس‌های چمنی نسبت به این شرایط کمی حساسیت نشان دادند و شاخص‌های بیوشیمیایی در آنها کاهش قابل‌توجهی را نشان داد. زمین‌پوش‌های غیرگوشتی و گوشتی مقاومت بیشتری داشته و ظاهر بهتری را در این شرایط نشان دادند. زمین‌پوش‌های غیرگوشتی محتوی کلروفیل و کاروتنوئید، فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی مناسبی را

نشـان داده و در مورد گیاه شـبنمی دیگر شـاخص‌ها نیز مطلوب بودند. گیاه شـــبنمی در طول آزمایش با تغییر فصل تغییر رنگ را نیز نشان داد. محتوی نسبی آب برگ در میان زمین‌پوش‌های گوشتی بالاترین مقدار بود که به احتمال زیاد به‌خاطر مقاومت بیشـتر و طبیعت برگ‌های آبدار آنهاست. این دسته همچنین فعالیت آنتی‌اکسیدانی خوبی را نشـــان دادند، اما محتوی کلروفیل در این نوع گیاهان به‌طورکلی پایین‌تر بود.

اثرات متقـابـل گونـه×آبیـاری نیز معنی‌دار بود. بالاترین محتوی نســـبی آب برگ و محتوی پرولین در ســـدوم قرمز و شـــبنمی به ترتیب در ســـطوح ۴۸ و ۷۲ ســـاعت آبیاری به دســـت آمد. حســـاس‌ترین گیاه در شـدیدترین سـطح تنش خشـکی .*Potentila* sp بوده و محتوی پرولین در گیاهان گوشـــتی (ســـدوم قرمز و دم‌عقربی) بسیار ناچیز بود (شکل ۱). محتوی نسبی آب برگ در پاسخ به تنش خشکی کاهش یافت و این کاهش در گراس‌های چمنی و زمین‌پوش‌های غیرگوشتی بسیار مشـــخص بود. این کاهش در گیاهان گوشـــتی به مراتب کمتر مشاهده شد (شکل ۱).

آبیاری، تاثیر چشمگیری در افزایش رشد گیاهان داشـــت. از میان ســـه تیمار آبیاری به کار رفته در این آزمایش و مطابق نتایج به‌دست‌آمده، دو سطح اول (۴۸ و ۷۲ ســاعت) تاثیر قابل‌توجهی در بیشـتر صـفات نشـان ندادند اما هر دو با سطح سوم (۹۶ ساعت) دارای تفاوت معنی‌دار بودند. آب و آبیاری نقش مهمی در زندگی گیاه ایفا کرده و در محیط بام سـبز اهمیت حیاتی‌تری دارد و به طور طبیعی در شـــرایط گرم و خشـــک مانند ایران و مشـــهد اهمیت آن بیشـــتر محســـوس اســـت. بنابراین، محدودیت آب سـبب ایجاد کاهش چشـمگیر در کیفیت تقریبا بسیاری از صفات گیاهی می‌شود. در این آزمایش، بیشـترین کاهش در محتوی نسـبی آب برگ رخ داد که سبب آسیب رساندن به کیفیت بصری بام سبز می‌شود (شکل ۱).

فصل تابستان-بقا

نتایج حاصـــل از تجزیه واریانس داده‌ها نشـــان داد، اثر گونه، آبیاری و اثر متقابل آنها بر بقا در فصل تابســـتان معنی‌دار اســـت (جدول ۷) ($p\leq0.01$). آبیاری تاثیر بســـزایی بر بقا در گراس های چمنی کپه‌ای‌ها و زمین‌پوش‌ها گذاشـته، هر چند هیچ کدام از گیاهان گوشـــتی تحت تاثیر قرار نگرفتند. بر این اســـاس، این گیاهان حائز برترین رتبه های کیفیت ظاهری در بین گیاهان آزمایش شـــدند. تمامی گراس های چمنی به همراه پیچ تلگرافی با گرم و خشک شدن هوا توانایی بقا در تابستان را از دست داده و بقای شـــبنمی و پنجه‌برگی به دلیل مقاومت بیشـتر با کمی سـختی صـورت گرفت. تنش خشـکی سـبب کاهش معنی‌دار کیفیت بصـری گونه‌ها شـد. اثرات متقابل نشـــان داد، بالاترین مقدار شـــاخص کیفیت ظاهری در ســـدوم قرمز و دم‌عقربی و در دورهای آبیاری ۴۸ و ۷۲ ســـاعت مشـــاهده شـــد. از سوی دیگر، کمترین کیفیت بصری در پیچ تلگرافی و همراه با دور آبیاری ۹۶ ســـاعت بود (شـــکل ۲). گراس‌هـای چمنی و زمین‌پوش‌هـای غیرگوشـــتی حساس‌ترین گیاهان نسبت به خشکی تابستانه بودند، اما گیاهان زمین‌پوش‌های گوشـــتی نســـبت به آنها مقاوم‌تر بوده و هیچ کاهش قابل‌توجهی در بقای آنها مشاهده نشد. نرخ کاهش بقا در پاسخ به خشکی با گذر از دور آبیاری ۴۸ به ۷۲ ســـاعت کمتر بوده و با حرکت به سوی تیمار ۹۶ ساعت شدت کاهش به یک باره افزایش یافت (شکل ۲). کاهش کیفیت بصری در تابســـتان حتی نســـبت به بهار قابل‌ملاحظه‌تر بود. در مجموع به نظر می‌رسد، ابتدا گیاهان گوشتی و سپس زمین‌پوش‌های غیرگوشـتی گزینه‌های مناسـبی برای فصـل گرم مشـهد باشـند و دور آبیاری نباید در این فصول از ۷۲ ساعت بیشتر شود زیرا در این صورت خسارت شدیدی به گیاهان وارد می‌شود.

جدول ۶– جدول تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش تنش خشکی در بهار

Table 6. Analysis of variance of the visual and biochemical indices measured for drought tolerance in the spring season in Mashhad

منابع تغییرات SV	درجه آزادی df	محتوی نسبی آب برگ Relative water content	کلروفیل آ Chlorophyll a	کلروفیل ب Chlorophyll b	کلروفیل کل Chlorophyll total	کاروتنوئید Carotenoid	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity	فنول کل Phenol	پرولین Proline	نمره‌دهی بصری Visual quality
بلوک Block	3	19.88ns	6.02ns	11.55ns	9.53ns	34219.05**	8.95ns	12.57ns	1.20ns	0.6ns
گونه Species	8	5845.33**	71.81**	21.22ns	165.57**	34533.58ns	12.26*	184.01*	13.86**	13.71**
آبیاری Irrigation	2	7618.76**	50.45**	4.07ns	83.18**	33761.77ns	14.29ns	8.43ns	5.24**	15.81**
گونه×آبیاری Species×Irrigation	16	771.54**	18.11ns	13.33ns	48.47**	33707.86ns	10.89*	35.10**	2.85**	1.09**
خطا	78	237.05	9.83	12.03	9.75	33956.20	5.51	8.06	1.03	0.22
کل Error	107									
ضریب تغییرات CV		54.01	86.82	118.66	69.69	98.95	28.87	65.24	61.73	37.69

جدول ۷– جدول تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش تنش خشکی در تابستان

Table 7. Analysis of variance of the visual and biochemical indices measured for drought tolerance in the summer season in Mashhad

منابع تغییرات SV	درجه آزادی df	محتوی نسبی آب برگ Relative water content	کلروفیل آ Chlorophyll a	کلروفیل ب Chlorophyll b	کلروفیل کل Chlorophyll total	کاروتنوئید Carotenoid	فعالیت آنتی اکسیدانی Antioxidant activity	فنول کل Phenol	پرولین Proline	نمره‌دهی بصری Visual quality
بلوک Block	3	1152.33*	72.37*	87.81*	162.72*	25.74*	93.67*	4.10*	0.38ns	0.6ns
گونه Species	8	2285.45**	85.89**	34.54ns	110.27**	14.83**	2506.60**	43.18**	24.01**	13.71**
آبیاری Irrigation	2	2998.99**	2.33ns	0.31ns	3.28ns	0.43ns	235.77**	15.91**	20.08**	15.81**
گونه×آبیاری Species×Irrigation	16	471.69*	16.78ns	110.72**	140.60**	28.29**	63.28**	3.24ns	5.80**	1.09**
خطا	78	444.82	14.81	35.12	30.27	7.34	42.85	1.01	0.26	0.22
کل Error	107									
ضریب تغییرات CV		40.50	69.74	86.46	51.09	93.24	20.98	47.92	59.42	37.69

** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ ٪ و ns بی‌معنی است.

*, ** indicate significance at P < 0.05, 0.01, respectively, ns, not significant

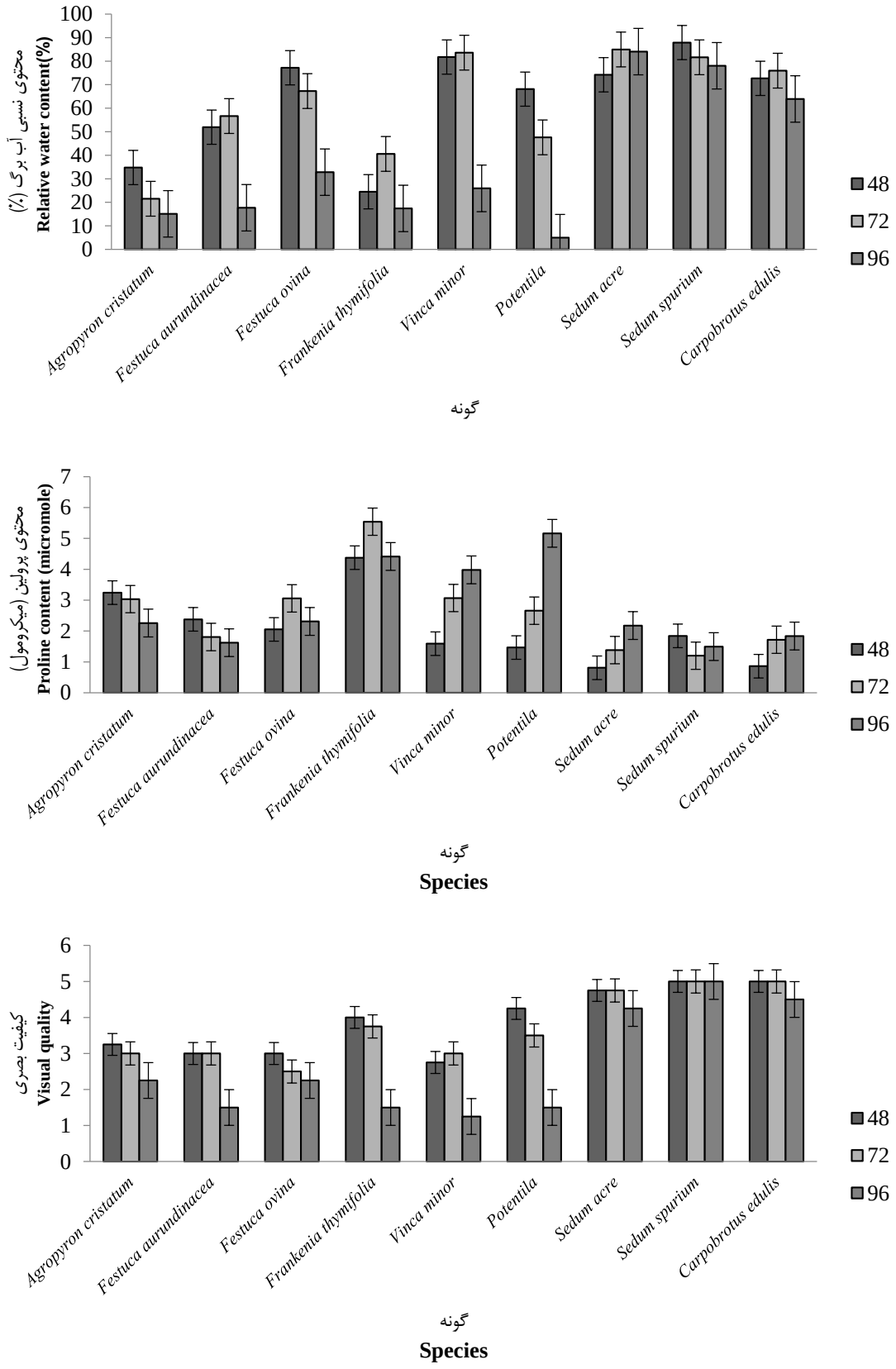
شاخص‌های بیوشیمیایی

میانگین شاخص‌های بیوشیمیایی در پاسخ گیاهان به رژیم‌های آبیاری در تابستان نیز بررسی شدند. تابستان گرم‌ترین و خشک‌ترین زمان سال محسوب شده و همزمان با این وضعیت بیشترین طول روز و میزان تابش نیز در مشهد رخ می‌دهد. این شرایط سخت، رشد گیاهان در بام سبز را با مشکل مواجه کرده و باعث ایجاد پاسخ‌های گوناگون و متنوعی در گیاهان در این شرایط می‌شود. در نتیجه گراس‌های چمنی با نیاز آبی بیشتر، بیش از همه صدمه دیده و کمترین شاخص‌های بیوشیمیایی در این دسته از گیاهان در تابستان بروز می‌کند.

از سوی دیگر، گیاهان گوشتی خشکی را به خوبی تحمل کرده و محتوی نسبی آب برگ را در شرایط گرم و خشک به خوبی در سطحی مطلوب حفظ کردند. زمین‌پوش‌های غیرگوشتی حالتی بینابین گراس‌های چمنی و زمین‌پوش‌های گوشتی‌ها داشته و در حقیقت گزینه حدواسط تلقی می‌شود. بیدگیاه در میان گراس‌های چمنی از نظر محتوی نسبی آب برگ بالاتر بود اما نتایج آن خیلی بالاتر از دو گراس چمنی دیگر که پایین‌ترین محتوی نسبی آب برگ را داشتند بودند. در بین زمین‌پوش‌های غیرگوشتی، گیاه شبنمی و پنجه‌برگی نتایج خوبی بر جای گذاشتند و در فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل کل و پرولین پیشتاز بودند. فعالیت آنتی‌اکسیدانی و محتوی نسبی آب برگ به بالاترین مقادیر خود در گیاهان گوشتی به ویژه سدوم قرمز رسید و این گیاهان برترین گزینه‌ها برای فصل تابستان و گرم مشهد هستند. این گیاهان در هر سه سطح آبیاری پاسخ‌های مطلوبی را نشان داده و سدوم قرمز با وجود گل‌های قرمز رنگ زیبایی بیشتری را به محیط بام سبز بخشید.

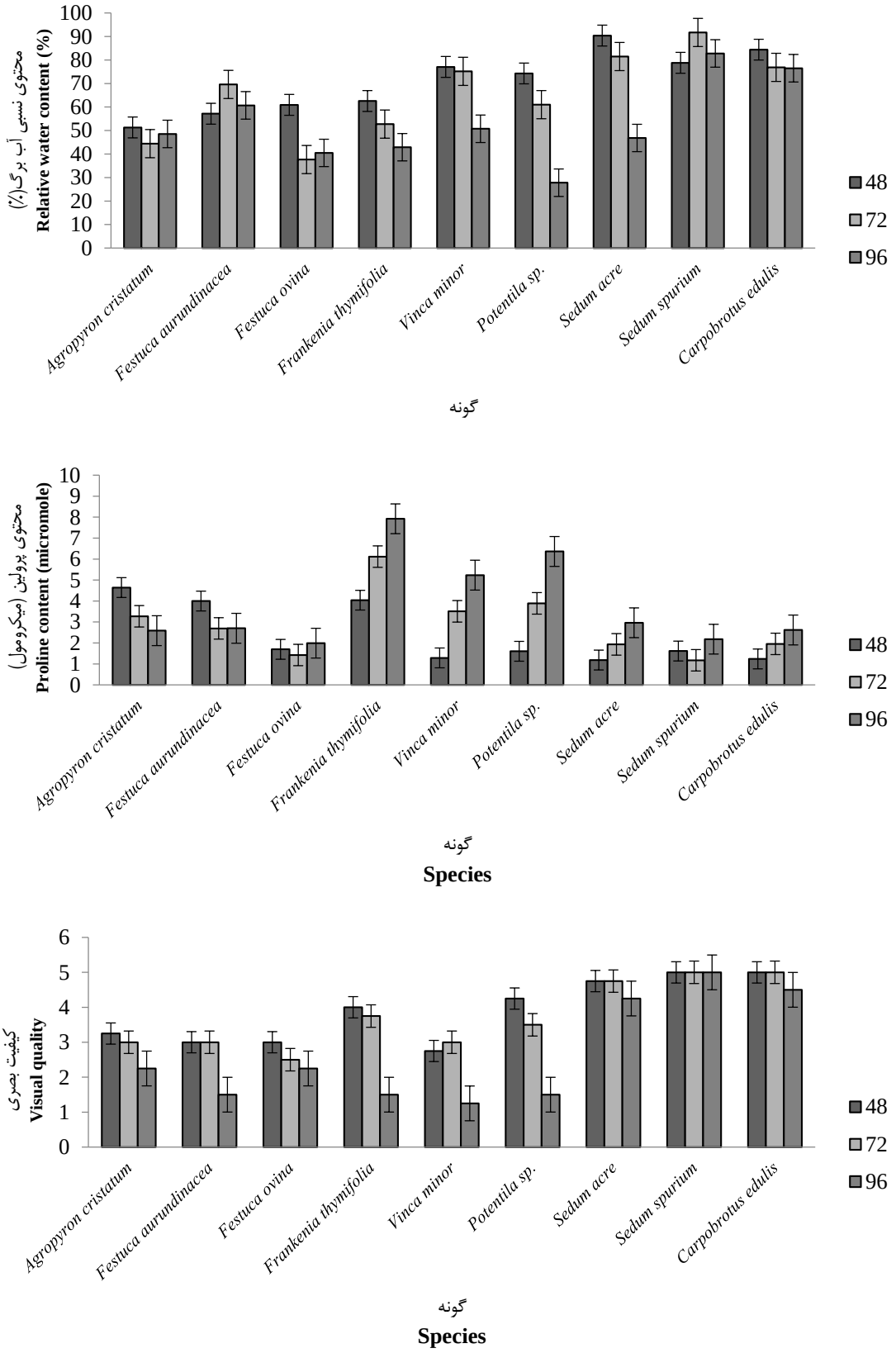
اثرات متقابل گونه×آبیاری بر شاخص‌های بیوشیمیایی نیز معنی‌دار بود (جدول ۷). بالاترین محتوی نسبی آب برگ و محتوی پرولین در سدوم قرمز و شبنمی به ترتیب در سطوح ۴۸ و ۷۲ ساعت آبیاری به دست آمد. حساس‌ترین گیاه در شدیدترین سطح تنش خشکی پنجه‌برگی بوده و محتوی پرولین در گیاهان گوشتی (سدوم قرمز و دم‌عقربی) بسیار ناچیز بود. (شکل ۲). محتوی نسبی آب برگ در پاسخ به تنش خشکی کاهش یافت و این کاهش در گراس‌های چمنی و زمین‌پوش‌های غیرگوشتی بسیار مشخص بود. این کاهش در گیاهان گوشتی به‌مراتب کمتر مشاهده شد (شکل ۲).

آبیاری تاثیر چشمگیری در افزایش رشد گیاهان دارد. از میان سه تیمار آبیاری به کار رفته در این آزمایش و مطابق نتایج به‌دست‌آمده، دو سطح اول (۴۸ و ۷۲ ساعت) تاثیر قابل‌توجهی در بیشتر صفات نشان ندادند اما هر دو با سطح سوم (۹۶ ساعت) دارای تفاوت معنی‌دار بودند. درست همانند بهار، آب و آبیاری نقش مهمی در زندگی گیاه ایفا کرده و این در محیط بام سبز و به طور طبیعی در شرایط گرم و خشک مانند ایران و مشهد حیاتی‌تر است. بنابراین محدودیت آب سبب ایجاد کاهش چشمگیر در تقریبا بسیاری از صفات به جز محتوی پرولین می‌شود. بیشترین کاهش در محتوی کاروتنوئید رخ داد و نشان می‌دهد در این شرایط گیاه یا در شرایط مناسب قرار داشته یا به‌طورکلی از بین رفته است.



شکل ۱- اثر متقابل گونه×آبیاری بر شاخص‌های بیوشیمیایی در فصل بهار

Fig. 1. Interaction effect of species× drought on different biochemical indices in spring, relative water content, proline content, visual indices.



شکل ۲- اثر متقابل گونه×آبیاری بر شاخص‌های بیوشیمیایی در فصل تابستان

Fig. 2. Interaction effect of species× drought on different biochemical indices in summer, relative water content, proline content, visual indices.

اگر یک بام سبز به درستی، با یک مخلوط گیاهی مناسب و عمق بستر مطلوب طراحی شود و اگر گیاهان به خوبی استقرار پیدا کنند، تنها در مناطق خشک و شرایط خاص نیاز به آبیاری خواهند داشت. به دلیل آنکه مزایا و کارکردهای بام سبز به طور نسبی به حضور گیاهان سالم بستگی دارد، تعبیه سیستم آبیاری و در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای این منظور به ویژه در طراحی های بدون استفاده از گیاهان گوشتی، ضروری به نظر می‌رسد. فصل گرما با افزایش نسبی دما و کاهش بارندگی و رطوبت هوا به‌ویژه از بهار به سمت تابستان آغاز می‌شود. به همین دلیل گراس‌های چمنی نسبت به این شرایط کمی حساسیت نشان داده و شاخص‌های بیو شیمیایی در آنها کاهش قابل‌توجهی نشان می‌دهد. زمین‌پوش‌های غیرگوشتی و گوشتی مقاومت بیشتری داشته و ظاهر بهتری را در این شرایط نشان دادند. در این آزمایش، تمامی گراس‌های چمنی و زمین‌پوش‌های غیرگوشتی در بهار و تابستان بین دو تیمار دور آبیاری ۷۲ و ۹۶ ساعت به نقطه پژمردگی رسیدند و در این مرحله آبیاری برای بازگرداندن شادابی به آنها و حفظ کیفیت بصری لازم بود. پاسخ به خشکی در میان گونه‌های مختلف سدوم نیز متفاوت است، اگرچه طبق نظر محققان دیگر، مقاومت سدوم نسبت به گراس‌های چمنی و زمین‌پوش های غیرگوشتی بسیار بالاتر است (Gurevitch *et al*., 1986) و این نتایج با یافته های تحقیق حاضر نیز مطابقت داشت. همچنین (Stephenson, 1994) بیان داشت بعضی از انواع سدوم‌ها توانایی تحمل هر دو شرایط خشکی و رطوبت را داراست که این ویژگی برای یک بام سبز می‌تواند بسیار مهم و کاربردی باشد. در نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق، گیاه دم‌عقربی چنین وضعیتی را به خوبی نشان داد.

در میان زمین‌پوش‌های غیرگوشتی شبنمی بهترین مقاومت را در برابر سرما و خشکی و پنجه‌برگی نیز پاسخ‌های مناسبی را نشان داد، اما پیچ تلگرافی بیشتر مناسب فصل خنک و شرایط با رطوبت بالاتر بود و زیر تابش مستقیم و طولانی مدت آفتاب برگ سوختگی در آن مشاهده شد. در میان گونه‌های گراس های چمنی، بیدگیاه مقاومت و بقای بهتری را در هر فصل نشان داد. فستوکای آبی در تابستان به مشکل خورده و *Festuca arundinacea* با رشد بسیار خوب در سه فصل پاییز، زمستان و بهار، در تابستان دچار برگ سوختگی شد. آب و آبیاری نقش مهمی در زندگی گیاه ایفا کرده و این در محیط بام سبز حتی حیاتی‌تر نیز می‌شود. بنابراین، محدودیت آب سبب ایجاد کاهش چشمگیر در تقریبا بسیاری از صفات می شود. بیشترین کاهش در محتوی نسبی آب برگ رخ می‌دهد که سبب آسیب رساندن به ظاهر و کیفیت بصری گیاهان در بام سبز است.

نتیجه‌گیری

آن‌طور که نتایج نشان داد، بیدگیاه، شبنمی و دم‌عقربی بهترین گیاهان از لحاظ بقا در میان گیاهان مورد آزمایش بودند. همان‌طور که مشاهده شد، تغییرات فصلی شرایط گوناگونی در سطح بام ایجاد کرده و گیاهان مورد استفاده پاسخ‌های قابل‌توجهی را از خود نشان دادند. بام‌های سبز در مشهد در حدود نیمی از سال وضعیت بسیار مطلوبی را در بهار و پاییز به نمایش گذاشته، اما پرتنش‌ترین ماه‌های سال برای بام سبز از ابتدای خرداد تا نیمه شهریور ماه است که در آن خشکی بسیار مشهود است. گیاه دم‌عقربی بهترین گزینه برای استفاده در مشهد در هر دو فصل سرد و گرم سال بود و به دنبال آن شبنمی و پنجه‌برگی قرار گرفتند. گیاه پیچ تلگرافی برای فصول سرد و سدوم قرمز گزینه فوق‌العاده‌ایی برای فصول گرم سال مشاهده شدند. گراس‌های چمنی و زمین‌پوش‌های غیرگوشتی نیاز به

آبیاری منظم در فصـــل گرم داشـــته و از نظر تیمارهای آبیاری تفاوت چشمگیری را نشان ندادند، اما پاسخ بسیار مطلوبی در گیاهان گوشـــتی نســـبت به ســـطوح تنش خشـــکی بروز کرد. در مجموع گیـاهـان گوشـــتی و زمین‌پوش‌های غیرگوشـــتی به ترتیب برای اســـتفاده در فصـول گرم و ســرد مناســب‌تر بوده و گراس‌های چمنی خیلی توصیه نمی‌شوند. عملکرد مناسب گیاهان گوناگون در فصول مختلف، کاربرد تنوع بالاتر گیاهی در طرح‌های بام سبز برای داشتن فضایی شاداب‌تر را پیشنهاد می‌کند. بنابر نتایج حاصـل از این تحقیق درباره انتخاب گونه‌های گیاهی، برخی گیاهان معمول مورد اســتفاده در فضـــای ســبز شـهر مشـهد می‌توانند با در نظر گرفتن ملاحظاتی چند در کشت و نگهداری، شرایط تنشی حاکم بر بام‌های سبز را تحمل کرده و بام‌های سبز نسبتا پایداری را برای اقلیم مشهد نوید دهند.

منابع

Barrs, H.D. and Weaterley, P.E., 1962. A re-examination of the relative turgidity techniques for the estimating water deficit in leaves. Australian Journal of Biological Sciences. 15, 413-428.

Bousselot, J.M., Klett, J. and Koski, R., 2009. Extensive green roof species and soilless media evaluations in semi-arid Colorado. Hortscience. 44 (4), 1063-1063.

Dere, S. Gunes and T. Sivaci, R., 1998. Spectrophotometric determination of chlorophyll - a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. Journal of Botany. 22: 13-17.

Dunnett, N. and Kingsbury, N. 2008. Planting Green Roofs and Living Walls, 2nd edition. Timber Press, Portland Oregon.

Gurevitch, J., Teeri, J.A. and Wood, A.M. 1986. Differentiation among populations of *Sedum wrightii* (Crassulaceae) in response to limited water availability: water relations, CO_2 assimilation, growth and survivorship. Oecologia, 70, 198–204.

MacDonagh, L.P., Hallyn, N.M. and Rolph, S. 2006. Midwestern USA plant communities + design = bedrock bluff prairie greenroofs. Paper presented at the Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Boston, MA.

Nagasea, A. and Dunnett, N. 2010. Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: Effects of watering and diversity. Landscape and Urban Planning. 97: 318-327.

Peter A.Y. Ampim, John J. Sloan, Raul I. Cabrera, Derald A. Harp, and Fouad H. J., 2010. Green Roof Growing Substrates: Types, Ingredients, Composition and Properties. Journal of Environment and Horticulture. 28(4): 244–252.

Snodgrass, E.C. and Snodgrass, L.L., 2006. Green Roof Plants: A Resource and Planting Guide. Timber Press, Portland Oregon.

Singleton, U. L. and Rossi, J., 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-posphotungustic acid reagent. Am. J. Enol. Vit. 16,144-158.

Snodgrass, E. and Snodgrass, L., 2006. Green Roof Plants. Timber Press, Portland, Oregon.

Stephenson, R.S., 1994. Cultivated Stonecrops. Timber Press, Portland Oregon.

Terri, J.A., Turner, M. and Gurevitch, J., 1986. The response of leaf water potential and Crassulacean acid metabolism to prolonged drought in *Sedum rubrotinctum*. Plant Physiology. 81, 678–680.

Van Woert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Rugh, C.L. and Xiao, L., 2005. Watering regime and green roof substrate design affect Sedum plant growth. HortScience. 40 (3), 659–664.

White, J.W. and Snodgrass, E., 2003. Extensive green roof plant selection and characteristics. In: Proc. of 1st North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Chicago, IL, The Cardinal Group, Toronto.

Environmental Sciences Vol.14 / No.4 / Winter 2017

29-44

Assessing chilling and drought tolerance in different plant genera for extensive green roofs in an arid climatic region in Mashhad (Iran)

Navid Vahdati Mashhadian, Ali Tehranifar* and Fatemeh Kazemi

Department of Horticulture and landscape, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Received: April 26, 2016 **Accepted:** December 5, 2016

Vahdati Mashhadian, N., Tehranifar, A. and Kazemi, F., 2017. Assessing chilling and drought tolerance in different plant genera for extensive green roofs in an arid climatic region in Mashhad (Iran). Environmental Sciences. 14(4), 29-44.

Introduction: The harsh and stressful growing environment of extensive green roofs means that only a limited range of plant species is routinely used.

Material and methods: This paper describes an experiment for investigating suitable plants for extensive green roofs in Mashhad during the natural cold of autumn and winter in the form of a complete block design and, after that, during the warm season (drought stress) with three irrigation interval treatments (48, 72 and 96 hours) in the form of a factorial experiment based on a complete block design with four replicates.

Results and discussion: The results of both experiments showed a significant effect in the different seasons. *Agropyron cristatum*, *Frankenia thymifolia* and *Carpobrotus edulis* showed the best visual quality among the plants examined. From the survival point of view, *Carpobrotus edulis* showed the best performance for both cold and warm seasons and *Frankenia thymifolia* and *Potentilla* sp. follow the same manner. *Vinca minor* was good under cold conditions and *Sedum spurium* was observed to be an excellent choice for the warm season. Grass plants and groundcovers need regular irrigation during the warm season and showed significant differences regarding watering treatments. However, a very good response to drought was shown in the *Sedum spurium* plant.

Conclusion: Overall succulent and groundcover plants are, respectively, considered good for the warm and cold seasons while grass plants are not properly suited. According to the results of this study, green roofs can be advised as sustainable green structures for Mashhad's climate with certain considerations.

Keywords: Environmental stress, urban landscape, seasonal responses, extensive green roof.

* Corresponding Author. *E-mail Address*: tehranifar@um.ac.ir