

بررسی برخی از شاخص‌های مقاومت به خشکی گونه اسکنبیل هفت‌بندی (*Calligonum polygonoides*) در شرایط طبیعی

اصغر مصلح آرانی^{1*}، رویا احقاقی²، حمیدرضا عظیم‌زاده³

¹ استادیار دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

amosleh@yazduni.ac.ir

² کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

³ استادیار دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ پذیرش: 91/3/2

تاریخ دریافت: 90/12/20

چکیده:

خشکی به عنوان تأثیرگذارترین عامل بر رشد و پراکنش گیاهان، از جایگاه ویژه‌ای در اکوسیستم‌های بیابانی برخوردار است. به همین دلیل در این تحقیق، برخی از شاخص‌های مقاومت به خشکی گونه اسکنبیل هفت‌بندی در دو مرحله قبل و بعد از آبیاری، در شرایط طبیعی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد که پتانسیل آب در مرحله قبل از آبیاری به طور معنی‌داری بیشتر (منفی‌تر) از مرحله بعد از آبیاری بود. مقدار پرولین نیز در مرحله قبل از آبیاری با مقدار 3/1 میلی‌گرم بر گرم وزن تر به طور معنی‌داری بیشتر از مرحله بعد از آبیاری بود. بیشترین مقدار قندهای محلول نیز در مرحله قبل از آبیاری مشاهده شد. این نتایج نشان داد که آبیاری به طور معنی‌داری باعث کاهش پتانسیل آب (منفی کمتر)، مقدار پرولین و قندهای محلول شد. نتایج همچنین نشان داد که مقدار پتاسیم به طور معنی‌داری بیشتر از مقدار سدیم بود. تفاوت معنی‌داری بین پایه‌های اسکنبیل در مقدار محتوای نسبی آب به دست نیامد و به طور متوسط این مقدار برابر با 32 درصد بود. به طور کلی، نتیجه‌گیری شد که گونه اسکنبیل هفت‌بندی با حفظ پتانسیل منفی‌تر آب از طریق تجمع پرولین (همراه با تجمع قند و پتاسیم) و همچنین محتوای نسبی آب بالا می‌تواند بهتر خود را با شرایط محیط سازگاری دهد.

واژه‌های کلیدی: اسکنبیل، پتانسیل اسمزی، پرولین، خشکی، قندهای محلول، محتوای نسبی آب.

مقدمه

خشکی به عنوان تأثیرگذارترین عامل بر رشد و پراکنش گیاهان، از جایگاه ویژه‌ای در میان تنش‌های محیطی برخوردار است. از طرف دیگر، ایران سرزمینی خشک و نیمه‌خشک با نزولات جوی بسیار کم است، به طوریکه میانگین بارش سالانه آن در حدود 274 میلی‌متر می‌باشد. در مقایسه با میانگین بارش در سطح کره زمین (حدود 860 میلی‌متر)، این مقدار بسیار کم و نشان‌دهنده آن است که خشکی در ایران، یک واقعیت اقلیمی است (علیزاده، 1380). با وجود این، گیاهانی وجود دارند که توانسته‌اند در این شرایط نیز به رشد و حیات خود ادامه دهند. گونه‌های اسکنبیل از جمله مقاوم‌ترین گیاهان به خشکی و خشکسالی‌های طولانی هستند. گونه‌های این جنس با استفاده از مکانیسم‌هایی مانند افزایش ضخامت کوتیکولی، کاهش سطح برگ، ریزش سریع برگ، سیستم ریشه‌ای منحصر به فرد و مسیر فتوسنتزی C4، تنش‌های خشکی را به خوبی تحمل، و خود را با محیط‌های بسیار خشک سازگار می‌کند (مقیم، 1384). در شرایط تنش خشکی، گیاه به منظور حفظ و ادامه جذب آب می‌تواند به تنظیم اسمزی اقدام کند. تنظیم اسمزی یکی از مهم‌ترین مکانیزم‌های تحمل به خشکی در گیاهان است که به واسطه کاهش پتانسیل اسمزی از طریق تجمع املاح در سلول‌های گیاه حاصل می‌شود و با حفظ فشار آماس سلول‌ها به توسعه سلولی و رشد گیاه در شرایط تنش کمک می‌کند (راسیو و همکاران، 1994). تنش خشکی منجر به کاهش محتوای نسبی آب (RWC)، پتانسیل آب و کاهش رشد گیاهان می‌شود، اما وجود سازوکار تنظیم اسمزی در گیاهان متحمل به خشکی، باعث حفظ و بالانگه داشتن رطوبت نسبی آب در گیاه می‌گردد. اسمولیت‌های سازگار اعمالی مانند تنظیم اسمزی، حفاظت از ساختار درون‌سلولی، کاهش خسارت اکسیداتیو با واسطه تولید رادیکال‌های آزاد در پاسخ به تنش خشکی و شوری را میانجی‌گری می‌کنند (دل‌اسردا و همکاران، 2005). در بین

مواد محلول سازگار شناخته شده، احتمالاً پرولین گسترده‌ترین نوع آن‌هاست و به نظر می‌رسد تجمع آن در فرآیند سازگاری به تنش خشکی در بسیاری از گلیکوفیت‌ها دخالت دارد (سودهاکار و همکاران، 1993). در گلرنگ ثابت شده است که با افزایش سن گیاه، تجمع پرولین بیشتر می‌شود و این افزایش با کاهش محتوای رطوبت نسبی گیاه و رطوبت خاک، همبستگی دارد (اریگوئن و همکاران، 1992).

افزایش غلظت یون‌ها نیز پدیده‌ای است که در شرایط خشکی اتفاق می‌افتد. سدیم کاتیون قابل حل در بسیاری از خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک است. اغلب گیاهان به‌خصوص شیرین‌پسندها به غلظت بالای سدیم حساس‌اند، زیرا پایداری یون‌های داخل سلول را بر هم می‌زند (وانگ و همکاران، 2004). بوهنرت و همکاران (1999) معتقدند که در هنگام تنش خشکی، میزان سدیم افزایش می‌یابد و برای جلوگیری از سمیت آن، گیاه سعی در خروج و یا به واکوئل فرستادن آن می‌کند. از طرفی دیگر، در بسیاری از گیاهان خشکی‌پسند سدیم با ورود به داخل واکوئل‌ها نقش عمده‌ای در تنظیم تعادل اسمزی بر عهده دارد. اکثر گیاهان خشکی‌زی یا غیر خشکی‌زی مقاوم به خشکی، افزایش موقتی سدیم را در آپوپلاست از طریق واکویل) تحمل می‌کنند، لذا نمک‌ها رقیق‌تر می‌شوند و ظرفیت خود را برای جذب نمک از محلول آپوپلاست بالاتر می‌برند (حیدری شریف‌آباد، 1379). پتاسیم، عنصر غذایی پر مصرف و اصلی دیگری است که نقش عمده آن در گیاهان، تنظیم‌کننده اسمزی است. این عنصر، در فعالیت آنزیم و کوآنزیم‌ها، خنثی‌سازی یون‌های باردارشده غیر قابل انتشار و پلازماسیون غشا نقش مهمی ایفا می‌کند (بارکر و همکاران، 1993). آخوندی و همکاران (1385) نیز در مطالعه تغییرات عناصر در سه نوع یونجه یزدی، نیکشهری و رنجر نشان دادند که غلظت پتاسیم، سدیم و کلسیم در اثر تنش خشکی در اندام‌های گیاه افزایش

اسکنیبل مورد مطالعه در شرایط طبیعی انجام شد. بدین منظور، پنج پایه از گونه اسکنیبل هفت‌بندیدر رویشگاه مورد مطالعه انتخاب شد (شکل 1). اندازه‌گیری شاخص‌های خشکی گیاهان مذکور که همه در فرم‌های رویشی مشابه بودند، در دو مرحله قبل و بعد از آبیاری انجام شد. در مرحله قبل از آبیاری، میزان پرولین و قندهای محلول، پتانسیل آب گیاه، محتوای نسبی آب، سدیم و پتاسیم اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان پرولین، 0/5 گرم از ساقه اسکنیبل در 10 میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک اسید ریخته شد و به روش بیتس و همکاران (1973) با استفاده از معرف ناین هیدرین اندازه‌گیری شد. میزان قندهای محلول ساقه‌های اسکنیبل توسط روش کوچرت (1978) اندازه‌گیری شد. میزان جذب نوری پرولین در طول موج 520 نانومتر و قندهای محلول در طول موج 485 نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری پتانسیل آب، از ساقه گیاه اسکنیبل استفاده شد. پتانسیل آب نمونه‌ها با استفاده از اتاقک فشار (بمب فشار) با روش توصیف شده تورنر و جانز (1980) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان آب برگ، از هر پایه اسکنیبل سه نمونه از نقاط مختلف گیاه انتخاب شد. ابتدا وزن تر برگ‌ها اندازه‌گیری و به منظور تعیین وزن آماس به مدت 24 ساعت در داخل آب مقطر در تاریکی و 4 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند و پس از خشک کردن آب روی برگ‌ها، مجدداً وزن شدند. سپس نمونه‌ها به مدت 24 ساعت در آن 70 درجه قرار داده شدند و وزن نمونه‌های خشک شده اندازه‌گیری شد. RWC (محتوای نسبی آب) از فرمول $RWC = [(W_f - W_d) / (W_f - W_d)] \times 100$ محاسبه شد که در آن W_f وزن تازه برگ، W_t وزن آماس برگ و W_d وزن خشک برگ می‌باشد (سانچز-دیز و همکاران، 2008). میزان پتاسیم و سدیم نمونه‌های ساقه اسکنیبل به روش فلیم فتومتری اندازه‌گیری شدند.

در مرحله آبیاری همه پایه‌های اسکنیبل به مدت 5 بار و هر بار 5 لیتر آب در سطح 900 سانتی‌متر مربع (معادل 27 سانتی‌متر عمق آب) یقه گیاه برای ایجاد شرایط اشباع تا عمق

بررسی برخی از شاخص‌های مقاومت به خشکی گونه اسکنیبل...

می‌یابد. بسیاری از مطالعات، اثر تنش خشکی بر گیاهان در محیط آزمایشگاه و با تیمارهای مقطعی انجام می‌گیرد، در صورتی که در شرایط طبیعی، گیاهان در معرض آثار تدریجی خشکی‌اند؛ بنابراین ممکن است نتایج اثر خشکی در شرایط طبیعی با آزمایشگاه متفاوت باشد. در این تحقیق، میزان پرولین و قندهای محلول، پتانسیل آب گیاه، محتوای نسبی آب، کلروفیل، سدیم و پتاسیم در گونه اسکنیبل هفت‌بندی در شرایط طبیعی قبل و بعد از آبیاری مقایسه شدند. نتایج این تحقیق می‌تواند در شناسایی بعضی از مکانیسم‌هایی که باعث سازش این گونه اسکنیبل هستند، مؤثر باشد.

مواد و روش‌ها

گونه‌ها و مناطق مورد مطالعه

اسکنیبل هفت‌بندی (*Calligonum polygonoides*)، گونه‌ای از خانواده *Polygonaceae* است که در بیابان‌های ایران گسترش دارد. درختچه‌ای به ارتفاع تا 1/5 متر، با شاخه‌های مایل به سفید، محکم، شاخه‌چه‌های نازک و دارای فندقه‌هایی به طول 12-17 میلی‌متر و به عرض 10-14 میلی‌متر است. فندقه‌ها دارای ریشک‌هایی به طول 3-6 میلی‌متر، منشعب، کم و بیش سخت و شکننده‌اند. این گونه در 20-25 کیلومتری شهر مروست در استان یزد می‌روید (مظفریان، 1379). اسکنیبل از مناسب‌ترین و مهم‌ترین گیاهان برای اصلاح مراتع مناطق خشک با خاک‌های سبک است. شتر، بز و گوسفند از اواسط بهار تا اواسط تابستان از ساقه‌های جوان نازک و سبز، برگ‌ها، گل‌ها و نیز بذر گیاه که در خشکسالی‌ها و کمبود علوفه در تغذیه دام‌ها بسیار مؤثر و مفید است، استفاده می‌کنند. این گیاه از خوش‌خوراکی نسبتاً خوبی برخوردار است و ارزش رجحانی آن برای شتر بیشتر است (مقیم، 1384).

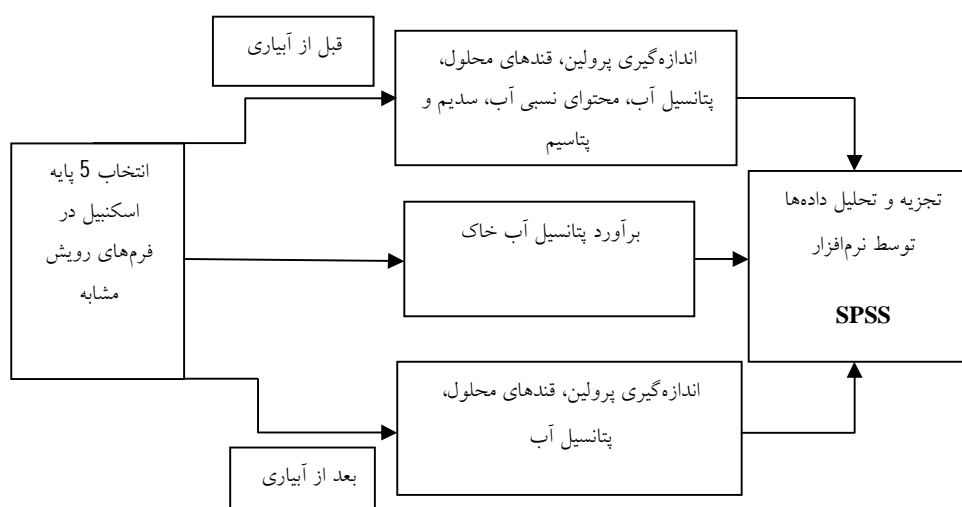
روش کار

آزمایش بررسی شاخص‌های مقاومت به خشکی در گونه‌های

کمبل (1974) در برآورد پتانسیل آب خاک استفاده شد. برای تعیین پتانسیل آب خاک، بافت و هدایت الکتریکی نمونه‌های خاک محدودۀ ریشه تعیین شد.

بدین منظور، در ابتدا از روابط شیرازی و برسما (1984) عوامل میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار هندسی قطر ذرات تعیین شد. این کار با میانگین درصد ذرات 5 نمونه خاک از محدودۀ ریشه برای هر رویشگاه انجام شد. حد اشباع با تهیه گل اشباع تعیین شد. با استفاده از ضرایب یاد شده و مدل کمبل (1974) برای تعیین منحنی رطوبتی مورد استفاده قرار گرفت. پتانسیل هواکشی خاک (*Bubbling Pressure*) از روش کمبل (1985) و با استفاده از میانگین هندسی قطر ذرات خاک تعیین شد. جهت آنالیز داده‌های حاصل از صفات مختلف اندازه‌گیری شده از نرم‌افزار SPSS 13 استفاده شد. داده‌ها توسط روش تجزیه واریانس یک‌طرفه آنالیز شدند.

70 سانتی‌متر عمق ریشه در طول روز آبیاری شدند. در این مرحله که رطوبت خاک در محدودۀ اشباع تا حد ظرفیت مزرعه تغییر می‌کند، فقط‌میزان پرولین، قندهای محلول و پتانسیل آب گیاهان مشابه روش‌های فوق اندازه‌گیری شد. طرح آزمایش‌ها به صورت طرح کاملاً تصادفی در پنج تکرار انجام شد. نمونه‌های خاک نزدیک ریشه‌های سطحی (10 سانتی‌متری) و هم ریشه‌های عمقی (70 سانتی‌متری) جهت تعیین رطوبت خاک قبل از آبیاری در ظروف مخصوص با درب محکم ریخته شد. 10 گرم از هر نمونه خاک در آزمایشگاه توزین شد. بعد از توزین، در درون آن با درجه حرارت 105°C به مدت 24 ساعت قرار داده شد. میزان رطوبت به صورت درصد وزنی نسبت آب به جرم خاک خشک به دست آمد. با توجه به عدم دسترسی به دستگاه *pressure plate apparatus* برای تهیه منحنی رطوبتی خاک، از روش



شکل (1): شماتیک مراحل انجام آزمایش

ریشه در گیاهان مطالعه شده بین $3/5-14$ درصد وزنی اندازه‌گیری شد. بدین ترتیب، در رطوبت‌های $3/5$ و 14 درصد وزنی که معادل 5 و 20 حجمی است، به ترتیب مقدار پتانسیل ماتریک خاک محدودۀ ریشه برای رویشگاه مروست (اسکنیل هفت‌بندی) $26/7-$ بار در رطوبت 5 درصد حجمی و $1/4-$ بار در رطوبت 20 درصد محاسبه گردید. بدین ترتیب

نتایج

بافت خاک در تمام تکرارها شنی لومی بود. وزن مخصوص ظاهری خاک با توجه به بافت $1/5$ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شد. رطوبت اشباع 26 درصد وزنی معادل 39 درصد حجمی به دست آمد. میزان رطوبت خاک در منطقه

گرم وزن تر به طور معنی‌داری بیشتر از مرحله بعد از آبیاری بود (شکل 3). مقدار قندهای محلول نیز روند مشابه پرولین داشت. بیشترین مقدار قندهای محلول به مقدار 23/7 میلی‌گرم بر گرم وزن خشک در مرحله قبل از آبیاری مشاهده شد (شکل 4). این نتایج به وضوح نشان داد که آبیاری به طور معنی‌داری، باعث کاهش پتانسیل آب، مقدار پرولین و قندهای محلول شد (جدول 1).

با احتساب مقادیر شوری 12 ds/m برای مروست پتانسیل اسمزی نیز 4/3- بار به دست آمد. پتانسیل آب خاک برای رویشگاه مروست 31- بار در رطوبت 5 درصد حجمی و 5/7- در رطوبت 20 درصد محاسبه گردید.

نتایج اندازه‌گیری پتانسیل آب در اسکنبیل هفت‌بندی نشان داد که مقدار آن در مرحله قبل از آبیاری به طور معنی‌داری بیشتر (منفی‌تر) از مرحله بعد از آبیاری بود (شکل 2). مقدار پرولین نیز در مرحله قبل از آبیاری با مقدار 3/1 میلی‌گرم بر

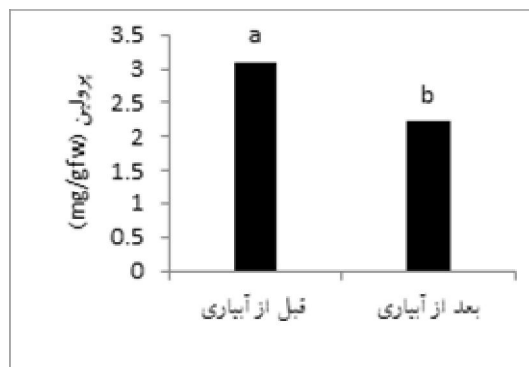
جدول (1): تجزیه واریانس تغییرات قندهای محلول، پرولین، پتانسیل آب و عناصر سدیم و پتاسیم در گونه اسکنبیل هفت‌بندی

منابع تغییرات	تیمار	انحراف معیار \pm میانگین	بیشینه	کمینه	F	میانگین مربعات	P
عنصر	سدیم	0/3 \pm 0/04a	0/41	0/16	109	2/1	0/0
(میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	پتاسیم	1/2 \pm 0/08b	1/41	0/94			
پتانسیل آب (بار)	قبل از آبیاری	-18/5 \pm 0/41a	-17/5	-20	6/2	10/0	0/038
	بعد از آبیاری	-16/5 \pm 0/69b	-14	-18			
پرولین (میلی‌گرم بر گرم وزن تر)	قبل از آبیاری	3/1 \pm 0/15a	3/7	2/7	13	1/8	0/007
	بعد از آبیاری	2/2 \pm 0/18b	3	1/9			
قندهای محلول (میلی‌گرم بر گرم وزن خشک)	قبل از آبیاری	23/5 \pm 1/1a	26/8	21	8/7	60	0/018
	بعد از آبیاری	18/6 \pm 1/2b	23	16			



شکل (2): مقایسه پتانسیل آب در اسکنبیل هفت‌بندی در دو مرحله قبل و بعد از آبیاری

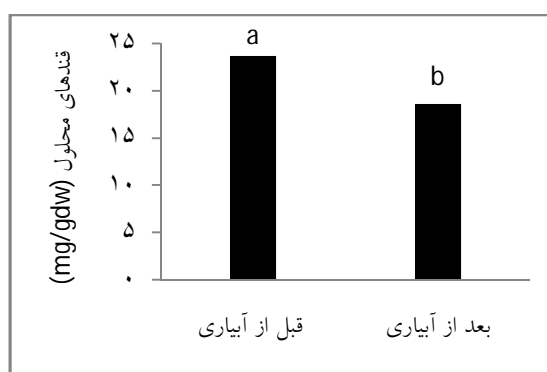
*حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری و بدون آبیاری در سطح احتمال 5 درصد است.



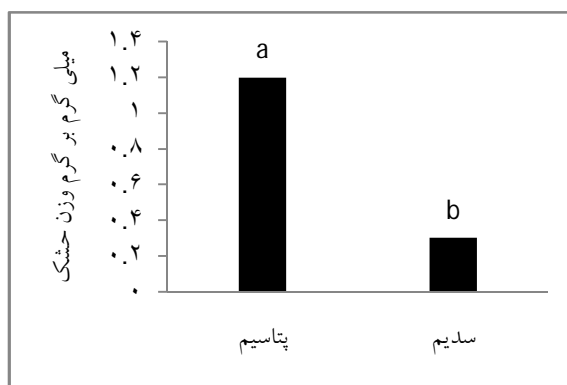
شکل (3): مقایسه مقدار پرولین در اسکنیبل هفت‌بندی در دو مرحله قبل و بعد از آبیاری
* حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری و بدون آبیاری در سطح احتمال 5 درصد است.

از مقدار سدیم بود (شکل 5). تفاوت معنی‌داری بین پایه‌های اسکنیبل در مقدار محتوای نسبی آب به دست نیامد و به طور متوسط این مقدار برابر با 32 درصد بود.

برای بررسی نقش سدیم و پتاسیم در مقاومت به خشکی گونه اسکنیبل مقدار آن‌ها در قبل از آبیاری اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که مقدار پتاسیم به طور معنی‌داری بیشتر



شکل (4): مقایسه مقدار قندهای محلول در اسکنیبل هفت‌بندی در دو مرحله قبل و بعد از آبیاری
* حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای آبیاری و بدون آبیاری در سطح احتمال 5 درصد است.



شکل (5): مقایسه مقدار سدیم و پتاسیم در اسکنیبل هفت‌بندی در مرحله قبل از آبیاری
* حروف متفاوت نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار بین مقدار سدیم و پتاسیم در سطح احتمال 5 درصد است.

بحث

رشد و نمو گیاهان، بستگی به سرعت تولید سلول‌های جدید و سرعت بزرگ شدن آنها دارد. برای انجام این دو فرآیند، سلول‌ها باید در شرایط آماس مناسبی قرار داشته باشند. گیاهانی که قادرند در شرایط تنش خشکی، فشار آماس سلول‌های خود را حفظ کنند، می‌توانند به رشد طبیعی خود ادامه دهند. از طرفی دیگر، پتانسیل فشار (آماس) توسط میزان آب نسبی و تنظیم اسمزی سلول‌ها مشخص می‌شود. به عبارت دیگر، گیاهانی که پتانسیل اسمزی خود را منفی نگه دارند و هم‌زمان بتوانند آب بیشتری (RWC) را در بافت‌های خود حفظ کنند، قادر به حفظ فشار آماس خواهند بود. در تحقیق حاضر، این مهم برای گونه اسکنبیل هفت‌بندی حاصل شده است. پتانسیل آب خاک در منطقه ریشه گونه اسکنبیل (در عمق 70 سانتی متری) برابر با $5/7$ - بار به دست آمد (البته این مقدار برای خاک تا عمق 10 سانتی متری برابر با 31 - بار بود که ریشه‌های اندکی در این عمق قرار داشتند). از طرفی، پتانسیل آب گیاه برابر با $18/5$ - بار به دست آمد که گیاه را قادر می‌سازد به آسانی آب را از منطقه ریشه به واسطه پتانسیل منفی تر جذب کند. این امر باعث شد که محتوای نسبی آب در گونه مورد مطالعه برابر با 32 درصد به دست آید؛ بنابراین یکی از دلایل بالا بودن RWC در این گونه می‌تواند به پتانسیل منفی‌تر این گونه مربوط باشد که باعث جذب بیشتر آب از طریق ریشه‌ها شده است. بخشی از RWC بالاتر در این گونه نیز می‌تواند به علت وجود سازوکارهای حفظ آب از طریق روزنه‌ها (بسته شدن روزنه‌ها) و یا فلسی بودن برگ‌ها و یا عوامل دیگر باشد. کیسر (1989) در بررسی محتوای نسبی آب در گیاه توتون نشان داد که کاهش بیشتر از 30 درصدی RWC کاهش غیر قابل برگشتی در ظرفیت فتوسنتزی به وجود می‌آورد که ناشی از صدمه وارده به غشای کلروپلاست می‌باشد و در نهایت منجر به مرگ می‌گردد.

آستانه RWC بر کاهش فتوسنتز و آثار سوء بر رشد آنها برای گیاهان مختلف متفاوت است. اگرچه این آستانه برای گونه‌های اسکنبیل مشخص نیست، RWC بالاتر در اسکنبیل می‌تواند نقش مهمی در ایجاد پتانسیل آماس در این گونه ایفا کند. سه گونه اسکنبیل مطالعه شده در آزمایش دیف و همکاران (2009) پتانسیل آبی 25 - را در تابستان نشان دادند. این محققان همچنین نشان دادند که تفاوت معنی‌داری در پتانسیل آب بین این گونه‌ها وجود دارد. گونه *Calligonum comosum* پتانسیل آبی منفی تری به‌ویژه در قبل از طلوع نسبت به دو گونه دیگر نشان داد. پتانسیل آبی اندازه‌گیری شده در این تحقیق با پتانسیل آبی گیاهان بیابانی مطالعه شده توسط گریگ و همکاران (2008) مطابقت دارد. رهبر (1366) کمترین میزان پتانسیل آب را در گونه‌های تاغ به ترتیب به میزان 87 - اتمسفر برای سیاه تاغ و 79 - اتمسفر برای سفید تاغ در تیرماه و در منطقه قرقه‌قوم ترکمنستان یاد کرده است. عرب‌زاده و همکاران (1376) با بررسی بر روی نهال‌های یکساله گونه‌های سیاه تاغ و زرد تاغ در شرایط گلخانه‌ای و القای تنش خشکی نسبتاً ملایم به آنها دریافتند که پتانسیل آب در ریشه نهال‌های یاد شده به ترتیب، معادل 14 - و $21/1$ - بار بوده است. با افزایش مدت زمان القای تنش خشکی یعنی از دو هفته به چهار هفته، پتانسیل آب ریشه‌ها کاهش و معادل $15/8$ - در سیاه تاغ و $13/2$ - در زرد تاغ گردید. این مطالعات نشان می‌دهد که تاغ نسبت به اسکنبیل، پتانسیل آب منفی تری دارد.

با کاهش مقدار پرولین و قندهای محلول بعد از آبیاری به وضوح نقش این دو ماده در تنظیم اسمزی و ایجاد پتانسیل منفی در این گیاه نشان داده شد. همان‌طور که اشاره شد، تنظیم اسمزی نیز به‌ویژه از طریق تنظیم فعال که به وسیله تجمع املاح یا اسمولیت‌های سازگار (مانند اسید آمینه‌های پرولین و گلیسین بتائین و یا قندهای محلول) صورت می‌گیرد، در حفظ فشار آماس مؤثر است (راسیو و همکاران،

1994). مطالعات متعددی در زمینه نقش اسمولیت‌های سازگار تحت شرایط تنش‌های گوناگون صورت پذیرفته است که همگی بر نقش ترکیبات مذکور در تنظیم اسمزی دلالت دارند (دلاسرده و همکاران، 2005). افزایش میزان پرولین در یونجه‌های یزدی، نیکشهری و رنجر (1385) گزارش شده است. نتایج مشابه توسط وانگ و همکاران (2004) در آزمایشی در گیاهان *Artemisia sphaerocephala* و *Caragana korshinskii* به دست آمد. مشابه تحقیق حاضر، زو و همکاران (2002) نیز در بررسی آثار فصلی (بهار و تابستان) تنش خشکی در گونه *Ammopiathanthus mongolicus* نشان دادند که پرولین و قند در اثر تنش خشکی در مقایسه با گیاه آبیاری شده افزایش می‌یابد. این محققان همچنین نشان دادند که میزان پرولین در فصل تابستان، افزایش و مقدار قند کاهش می‌یابد، و بیان داشتند که کاهش مقدار قند ممکن است به مراحل رشد و نمو گیاه مربوط باشد.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار سدیم و پتاسیم، تفاوت معنی‌داری را بین این دو عنصر نشان داد. پتاسیم، یک عنصر غذایی ماکرو است که برای همه انواع گیاهان ضروری است و نقش مهمی در تنظیم اسمزی دارد. سدیم حتی برای گیاهانی که فوق‌العاده هالوفیت‌اند نیز یک عنصر ماکرو نیست. پاسخ رشدی گیاهان به سدیم در بین گونه‌های مختلف متفاوت است. بسیاری از هالوفیت‌ها پاسخ رشدی مثبتی به سدیم نشان داده‌اند و این در حالی است که سدیم برای گلکوفیت‌ها مرگ‌آور است. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که سدیم اضافی در اکثر هالوفیت‌ها درواکوتل‌ها جمع می‌شود و بدینوسیله ضمن ممانعت از سمیت اندامک‌های سیتوپلاسمی، موجب تنظیم اسمزی نیز می‌گردد (حیدری شریف‌آباد و میرزایی ندوشن،

2006). مطالعات وانگ و همکاران (2004) در سیاه‌تاغ (*Haloxylon ammodendron*) نشان داد که این گیاه مقدار زیادی سدیم (نه پتاسیم) را جذب و در بافت‌های هوایی جمع می‌کند. مشابه این نتایج توسط حیدری شریف‌آباد و میرزایی ندوشن (2006) روی سه گونه سالسولا نشان داده شد. مطالعات نشان می‌دهد که پتاسیم در پاسخ به خشکی و سدیم تحت تنش شوری در گیاهان تجمع پیدا می‌کنند. نتایج این آزمایش نیز نشان داد که گونه‌های اسکنیل، تمایل به تجمع پتاسیم برای تنظیم اسمزی خود دارند.

نتیجه‌گیری کلی که از این مطالعه می‌توان داشت، آن است که گونه اسکنیل هفت‌بندی با حفظ پتانسیل منفی‌تر آب از طریق تجمع پرولین (همراه با تجمع قند و پتاسیم) و همچنین محتوای نسبی آب بالا می‌تواند نقش بهتری در برابر تنش خشکی ایفا کند و خود را بهتر با شرایط محیط‌های خشک سازگاری دهد. لازم به ذکر است که رطوبت نسبی بالاتر آب در این دو گونه ممکن است به علت وجود سازوکارهای کاهش‌دهنده تلفات آب از طریق روزنه‌ها (سته شدن روزنه‌ها در اثر ازدیاد اسید آبسیدیک اسید) باشد. همچنین تنظیم اسمزی ممکن است فقط از طریق افزایش املاح و یا اسمولیت‌های سازگار نباشد، بلکه از طریق کاهش حجم سلول با کم کردن الاستیسیته دیواره سلولی حاصل شود، مواردی که نیاز به تحقیق بیشتر دارد.

سپاس‌گزاری

بدین وسیله از همکاری اداره منابع طبیعی شهرستان طبس و همچنین دانشگاه یزد که مقدمات این تحقیق را فراهم کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

13. Campbell, G.S., 1985. Soil Physics with BASIC: Transport Models for Soil-Plant Systems, Elsevier, New York, 150 p.
14. Dhief, A., Gorai, M., Aschi-Smiti, S., Neffati, M., 2009. Comparative phenological and water potential patterns of three Calligonum species in the eastern great Erg of Tunisia. Flora. 204: 581-592.
15. Grigg, A.M., Veneklaas, E.J., Lambers, H., 2008. Water relations and mineral nutrition of six closely related woody plant species on desert dunes and interdunes. Australian Journal of Botany, 56: 27-43.
16. Heidari-Sharifabad, H., Mirzaie-Nodoushan, H., 2006. Salinity-induced growth and some metabolic changes in three salsola species. Journal of Arid Environments. 67: 715-720.
17. Kaiser, W. M., 1989. Effect of water deficit on photosynthesis capacity. Plant Physiology. 71: 142-149.
18. Kochert, G., 1978. Carbohydrate determination by the phenol sulfuric acid method. 56-97. In: Helebust, J. A., Craig, J. S., (Eds.). hand book of physiological method. Cambridge Univ. Press. Cambridge.
19. De Lacerda, C.F., Cambraia, J., Oliva, M.A. and Ruiz, H.A., 2005. Changes in growth and in solute concentrations in Sorghum leaves and roots during salt stress recovery. Environmental and Experimental Botany. 54: 69-76.
20. Irigoyen, J.J., Emerrich, D.W., Sanchez-Diaz, M., 1992. Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa plant. Physiological Plant. 84: 55-60.
21. Rascio, A., Platani, C., Scalfati, G., Tonti, A., Fonzo, N.D., 1994. The accumulation of solutes and water binding strength in durum wheat. Physiological plant. 90: 715-721.
22. Sanchez-Diaz, M., Tapia, C., Antolin, M.C., 2008. Abscisic acid and drought response of Canarian laurel forest tree species growing under controlled conditions. Environmental and Experimental Botany. 64: 155-161.
23. Shirazi, M.A., Boersma, L., 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. Soil Science Society of America Journal. 48: 142-147.
24. Sudhakar, C., Reddy, P.S., Veeranjanyulu, K., 1993. Effect of salt stress on enzymes of proline synthesis and oxidation in green gram (Phaseolusaureus) seedlings. Journal of Plant Physiology, 141: 621-623.
25. Turner, N.C. and Jones, M.M., 1980. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. 87-103. In: Turner, N. C., Kramer, P. J., (Eds.). Adaptation of Plants to Water and High
1. آخوندی، مهدی، صفرنژاد، عباس. لاهوتی، مهرداد، 1385. «اثر تنش خشکی بر تجمع پرولین و تغییرات عناصر در یونجه‌های یزدی، نیکشهری و رنجر»، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره 1. 156-176.
2. حیدری شریف‌آباد، حسین، 1379. گیاه، خشکی و خشکسالی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، چاپ اول. 200 ص.
3. رهبر، اسماعیل، 1366. اثر توأم پاره‌ای از ویژگی‌های فیزیکی خاک، انبوهی و بارندگی روی رشد و سرسبزی جنس تاغ، انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، 260 ص.
4. عربزاده، ناصر. و عمادیان، فضل‌الله. 1376. مقایسه میزان مقاومت به خشکی سه گونه تاغ: تاغ زرد (*H. persicum*)، تاغ سفید (*H. ammodendron*) و تاغ سیاه (*H. aphyllum*)، مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان کرمان.
5. علیزاده، امین. 1380. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ سیزدهم، 816 ص.
6. مظفریان، ولی‌الله. 1379. فلور استان یزد، مؤسسه انتشارات یزد. 473 ص.
7. مقیمی، جواد. 1384. معرفی برخی گونه‌های مهم مرتعی، انتشارات آرون، چاپ اول. 670 ص.
8. Barker, D.J., Sullivan, C.Y., Moser, L.E., 1993. Water deficit effect on osmotic potential, cell wall elasticity & proline in five forage grasses. Agronomy Journal. 85: 270-275.
9. Bates, L.S., Waldren, R.P., Teare, ID., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant soil. 39: 205-207.
10. Bajji, M., Lutts, S. and Kinet, J.M., 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat cultivars performing differently in arid conditions. Plant Science, 160: 669-681.
11. Bohnert, H.J., Nelson, D.E., Jensen, R.G., 1999. Adaptation to environmental stresses. The Plant Cell. 7: 1099-1111.
12. Campbell, G.S., 1974. A simple method for determining unsaturated conductivity from moisture retention data. Soil Science, 117(6): 311-314.

- Temperature Stress. Wiley-Inter-Science, New York, NY.
26. Wang, S., Wan, Ch., Wang, Ya., Chen, H., Zhou, Z., Fu, H., Sosebee, R.E., 2004. The characteristics of Na^+ , K^+ & free proline distribution in several drought-resistant plants of the Alexa Desert, China. *Journal of Arid environment*, 56: 525-539.
27. Xu, Sh., An, L., Feng, H., Wang, X., Li, X., 2002. The seasonal effects of water stress on *Ammopiptanthus mongolicus* in a desert environment. *Journal of Arid Environments*. 51: 437-447.