ارزیابی شاخص‌های فیزیولوژیکی تحمل به شوری در برخی گیاهان علوفه‌ای مناطق شور

جعفر احمدی، جلال محمدی و نیراعظم خوش‌خلق‌سیما[1]

دانشیار، عضو هیأت علمی دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)؛ **njahmadi910@yahoo.com**

دانشجوی کارشناسی ارشد اصلاح نباتات دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)؛ **jalalzavareh@gmail.com**

استادیار، عضو هیأت علمی پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران؛ **ksima@abrii.ac.ir**

دریافت: **1391/6/20** و پذیرش: **1391/12/9**

چکیده

یکی از راه‌های مقابله با شوری استفاده از ارقام متحمل به شوری است. لذا به منظور بررسی جنبه‌های فیزیولوژیک تحمل به شوری، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار در سال 1389 در پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران انجام گرفت. در این آزمایش پنج گونه گیاه علوفه‌ای جمع آوری شده از مناطق مرتعی و شور ایران در شش سطح مختلف تنش شوری (صفر، 50، 100، 150، 200 و 250 میلی مولار کلرید سدیم) مورد ارزیابی قرار گرفتند. گیاهان به صورت کشت در شن و به وسیله محلول‌دهی روزانه هوگلند تغذیه شدند. تیمارهای شوری در انتهای مرحله رشد رویشی به مدت 21 روز اعمال گردید و پس اعمال تنش نمونه‌برداری از اندام‌های هوایی صورت پذیرفت. نتایج آزمایش نشان داد گونه فستوکا (*Festuca ovina*) دارای بیشترین درصد کاهش وزن تر و خشک نسبت به تیمار شاهد خود (صفر شوری) بود. با افزایش سطوح شوری، چهار گونه جو زراعی (*Hordeum vulgare*)، علف بره (*Festuca arundinacea*)، بروموس (*Bromus confines*) و علف گندمی بلند (*Agropyron elongatum*) شاخص محتوای رطوبت نسبی گیاه (RWC) را به طور معنی‌داری حفظ نمودند، در حالی که حداکثر کاهش 40 درصد RWC در گونه *F. ovina* در سطح 250 میلی مولار مشاهده شد. بیشترین مقدار جذب سدیم در گونه *H. vulgare* و پس از آن به ترتیب *F. arundinacea*، *A. elongatum*، *B. confines* و *F. ovina* قرار گرفتند. همچنین *F. ovina* مقدار پایینی از پتاسیم را نسبت به گونه‌های دیگر دارا بود. در نهایت بر اساس سه شاخص وزن تر، وزن خشک و میزان تنظیم اسمزی، گونه *H. vulgare* از لحاظ تحمل شوری در مکان نخست، سپس *F. arundinacea*، *A. elongatum* و *B. confines* و در رتبه آخر *F. ovina* قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: فستوکا، بروموس، علف گندمی بلند، علف بره، جو زراعی

مقدمه

شوری خاک یکی از مهم‌ترین عوامل غیرزیستی محدود کننده رشد و تولید گیاهان در سراسر جهان است. شدت این مشکل در مناطق خشک و نیمه خشک جهان آشکارتر می‌باشد (مونس، 2002). شوری از رشد گیاه به دلیل غلظت بالای نمک به واسطه تنش اسمزی، عدم تعادل غذایی و سمیت ناشی از برخی یون‌ها جلوگیری می‌کند (مونس و تستر، 2008). در اکثر خاک‌های متأثر از شوری کلرید سدیم به عنوان نمک غالب خود نمایی

[1]. نویسنده مسئول، آدرس: کرج، پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران

می‌کند و تجمع زیاد یون‌ها، به ویژه سدیم در محیط کشت گیاه می‌تواند اثرات مسموم کنندگی سیتوپلاسمی برای گیاه در بر داشته باشد. شانن و همکاران (1994) گزارش کردند که اثرات شوری بر رشد و گسترش واریته‌های گیاهی بسته به سطح تحمل شوری، مراحل رشد و توسعه گیاهی، شرایط فیزیولوژیکی، شدت تنش شوری و عوامل محیطی از قبیل رطوبت، دما، تشعشع و آلودگی هوا است. در بررسی بر روی واکنش گیاهان به تنش شوری مشخص شده که کاهش رشد اندام هوایی در دو مرحله صورت می‌پذیرد، مرحله اول یا واکنش سریع به افزایش فشار اسمزی بیرونی، مرحله دوم یا واکنش کند که مربوط به انباشتگی سدیم در برگ‌ها می‌باشد (مونس وتستر، 2008). در مرحله اول (فاز اسمزی) با افزایش غلظت نمک در ناحیه ریشه تا سطح آستانه، سرعت رشد اندام هوایی نیز شروع به کاهش می‌کند. تحت این شرایط سرعت توسعه و گسترش برگ‌ها و نهایتاً شاخه‌ها و اندام هوایی کاهش می‌یابد (مونس وتستر، 2008). در مرحله دوم (اثر یونی) گیاه موقعی شروع به واکنش به شوری می‌کند که انباشتگی نمک در برگ‌های پیر به حالت مسمومیت برسد، این مسئله نهایتاً باعث از دست رفتن برگ‌های پیر می‌شود. اگر میزان ریزش برگ پیر نسبت به تولید برگ‌های جوان بیشتر باشد ظرفیت فتوسنتزی گیاه نیز به مقدار زیادی کاهش یافته و در نتیجه سرعت رشد کاهش می‌یابد (مونس وتستر، 2008). رضایی و همکاران (2006) گزارش کردند که شوری باعث کاهش وزن ریشه و اندام هوایی کلزا می‌شود. سروس و همکاران (1997) در مورد گندم گزارش نمودند که با افزایش شوری میزان پتانسیل آب و مقدار نسبی آب (RWC[1]) کاهش پیدا می‌کند، اما این کاهش در ارقام متحمل کمتر می‌باشد. در تحقیقاتی که در بیش از سی سال گذشته صورت گرفته این مسئله اثبات شده که هموستازی سدیم و تحمل شوری به وسیله کلسیم و کاهش اثرات منفی سدیم به وسیله پتاسیم صورت می‌گیرد (خوش خلق سیما و همکاران، 2009). مونس و تستر (2008) ارتباط قوی بین تحمل اسمزی و تحمل بافتی به سدیم را گزارش کردند، زیرا ژنوتیپ‌هایی که میزان سدیم بالایی را در واکوئل‌های سلول تقسیم و کده بندی[2] بکنند می‌توانند تنش اسمزی ناشی از تنش را تنظیم اسمزی کنند. از جمله معیارهای معرفی گیاهان متحمل، نسبت جذب K^+ به Na^+ تحت شرایط شوری محیطی است، که گیاهان متحمل میزان پتاسیم بیشتری را نسبت به سدیم جذب می‌کنند (گرین وی و مونس، 1980؛ اشرف، 2002). سلول‌های گیاهی برای داشتن فعل و انفعالات طبیعی متابولیکی نیاز به میزان پتاسیمی برابر 100 تا 200 میلی مول دارند. هم‌چنین پتاسیم در حفظ فشار تورگر نقش دارد (سراج و سینکلار، 2002). در مورد اگروپیرون، تحمل بالای گونه اگروپیرون الانگاتوم[3] نسبت به گونه اگروپیرون اینترمیدیم[4] مربوط به میزان جذب بالا K^+ در شرایط شوری است (الزام و اپستین، 1969). چن و همکاران (2005) گزارش کردند که در جو و گندم تنش شوری باعث افزایش جذب سدیم و کاهش جذب پتاسیم می‌شود، هم‌چنین نسبت K^+/Na^+ در برگ ها نیز کاهش یافت. چن و همکاران (2005) در گیاه جو به این نتیجه دست یافتند که بین میزان پتاسیم و سدیم همبستگی منفی وجود دارد و پتاسیم باعث افزایش تحمل به شوری در گیاه می‌شود. زاهو و رن (2007) گزارش کردند که با افزایش شوری NaCl میزان تجمع پتاسیم در جو، سورگوم، گندم و برنج کاهش می یابد.

به هرحال مکانیزم‌های بسیار متنوعی برای مقابله با شوری در گیاهان وجود داردکه شناخت و بهره گیری از آنها بسیار مهم است. در این راستا و به منظور شناسایی مکانیسم تحمل به شوری در پنج گونه گیاه علوفه‌ای، مقایسه این مکانیسم‌ها در آنها و در نهایت ضمن انتخاب گیاه متحمل شیوه تحمل مناسب-تر این آزمایش به اجرا در آمد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی جنبه‌هایی از مکانیسم‌های فیزیولوژیک تحمل به شوری، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملا تصادفی در سه تکرار در پژوهشکده بیوتکنولوژی کشاورزی ایران انجام گرفت. گونه‌های مورد مطالعه برای این تحقیق، گونه‌های انتخاب شده از مناطق مرتعی و شور ایران شامل پنج گونه، جو زراعی *(Hordeum vulgare* Var. Afzal*)*، فستوکا *(Festuca ovina)*، علف بره *(Festuca arundinacea)*، برموس *(Bromus confines)* و علف گندمی بلند *(Agropyron elongatum)* بودند. پس از ضدعفونی و جوانه‌دار کردن بذور، در گلدان‌های پر شده از ماسه بادی شسته شده کشت به صورت کشت در شن[5] اجرا شد. برای تغذیه گیاهان از محلول غذایی هوگلند در مدت اجرای آزمایش در گلخانه با محلول‌دهی روزانه استفاده شد. تیمار شوری با کلرید سدیم (Nacl) در انتهای مرحله رشد رویشی به مدت 21 روز و در شش سطح صفر، 50،

1. Relative water content
2. Partitioning

3. *Agropyron elongatum*
4. *Agropyron intermedium*
5. Sand Culture

100، 150، 200 و 250 میلی مولار بر روی گیاهان اعمال شد. پس از پایان مدت زمان تیمار شوری نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری صفات زیر انجام گرفت.

وزن خشک و تر گیاهان: پس از آن که نمونه گیاهی (اندام هوایی) از هرگونه آلودگی فیزیکی تمیز شد، وزن تر گیاه توسط ترازوی دقیق بر حسب گرم محاسبه شد. برای اندازه گیری وزن خشک، ابتدا نمونه‌ها در آون به مدت 72 ساعت و در دمای 70 سانتی‌گراد خشک شده و سپس با ترازوی دقیق (0/001گرم) برحسب گرم وزن شدند.

پتانسیل آب برگ: نمونه برگی (برگ چهارم از پایین) به صورت تصادفی از گیاهان مورد نظر برداشت و از دستگاه محفظه فشار برای تعیین میزان پتانسیل آب برگ استفاده شد.

شاخص محتوای نسبی آب برگ (RWC): نمونه‌های برگی به طور تصادفی (برگ سوم از پایین) انتخاب شده و بعد از توزین به مدت 24 ساعت درون لوله آزمایش مناسب پر شده از آب مقطر قرار گرفتند، سپس نمونه‌ها مجددا توزین شده و در انتها به آون منتقل و به مدت 48 ساعت در دمای 70 درجه سانتی‌گراد خشک شدند و مجددا توزین شدند. از اعداد حاصل از سه توزین فوق با کمک رابطه زیر RWC محاسبه شد:

$$\%RWC = [(Wf - Wd)/ (Wt - Wd)] \times 100$$

که به ترتیب Wf وزن تازه برگ، Wt وزن تورژسانس برگ و Wd وزن خشک برگ می‌باشد.

اندازه‌گیری میزان سدیم و پتاسیم برگ: برای اندازه‌گیری میزان سدیم و پتاسیم برگ، ابتدا نمونه‌های برگی تر درون آون به مدت 72 ساعت و در دمای 70 درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس از هر نمونه به میزان 0/01 گرم ماده خشک وزن و درون لوله آزمایش 20 میلی لیتری شیشه‌ای توزیع شد. برای اندازه‌گیری هر کدام از عناصر بر روی هر نمونه به مقدار 10 میلی لیتر اسید نیتریک 0/5 نرمال ریخته و نمونه به مدت 2 ساعت در دمایی 85 درجه سانتی‌گراد درون بن ماری نگه‌داری شدند. پس از این زمان نمونه‌ها از کاغذ صافی واتمن عبور داده و صاف شدند و از عصاره به دست آمده جهت تعیین میزان سدیم و پتاسیم برگ با دستگاه نشر شعله‌ای استفاده شدند (چن و همکاران، 2005).

تجزیه داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم افزارهای Excel و SAS انجام شد و نتایج حاصل به روش مقایسه میانگین با آزمون چند دامنه‌ای دانکن مور تحلیل نهایی قرار گرفت.

نتایج

وزن تر گیاه

تجزیه واریانس وزن تر گیاه (جدول 1) بیانگر تفاوت آماری معنی‌دار ($P\leq0.01$) میان سطوح شوری، گیاه و اثر متقابل شوری در گیاه بود. بر طبق نتایج مقایسه میانگین (شکل 1) بیشترین مقدار کاهش وزن‌تر در تمامی سطوح شوری نسبت به تیمار شاهد (صفر شوری) مربوط به گیاه *F.ovina* بود و برعکس تغییرات وزن تر در گیاه *H.vulgare* در سطوح شوری نسبت به شاهد حداقل بود. در سطح 50 میلی مولار *NaCl* گیاه *A.elongatum* افزایش وزن‌تر نسبت به تیمار شاهد خود نشان داد اما به لحاظ آماری این افزایش معنی‌دار نبود، ولی بقیه گیاهان در مقایسه با تیمار شاهد خودشان دچار کاهش وزن‌تر شدند. این مقدار کاهش برای *F.arundinacea* و *H. vulgare* نسبت به سه گیاه دیگر کمتر بود. بیشترین مقدار کاهش وزن تر نسبت به شاهد برای تمام گیاهان در سطح 250 میلی مولار *NaCl* رخ داد، که گیاه *F.ovina* با 76/3 درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد خود بیشترین مقدار کاهش را دارا بود و بعد از آن به ترتیب *B.confines*، *A.elongatum*، *F.arundinacea* و *H. vulgare* قرار گرفتند که به میزان 66/9، 54/2، 35 و 23 درصد کاهش نشان دادند (شکل 1).

وزن خشک گیاه

تجزیه واریانس وزن خشک گیاه (جدول 1) تفاوت آماری معنی‌داری ($P\leq0.01$) میان سطوح شوری، گیاه و اثر متقابل شوری در گیاه نشان داد. بر اساس آزمون مقایسه میانگین (شکل 2) بیشترین مقدار کاهش وزن خشک در تمام سطوح شوری نسبت به تیمار شاهد مربوط به *F.ovina* بود. در سطح 50 میلی مولار کلرید سدیم گونه *A.elongatum* افزایش وزن خشک ده درصدی نسبت به تیمار شاهد خود نشان داد که این افزایش به لحاظ آماری غیر معنی‌دار بود. در سطوح شوری 100 و 150 میلی مولار NaCl، میزان وزن خشک گیاهان شروع به کاهش یافت که درصد این کاهش برای تمام گونه‌ها به جز *F.ovina* تقریباً با اختلافات کمی نزدیک یکدیگر بود. ولی در سطوح شوری 200 و 250 میلی مولار NaCl این درصد کاهش برای گیاهان *H.vulgare* و *F.arundinacea* نسبت به دو گونه دیگر یعنی *A.elongatum* و *B.confines* به طور معنی‌داری کمتر بود. بیشترین مقدار کاهش وزن خشک نسبت به شاهد برای تمام گیاهان در سطح 250 میلی مولار NaCl رخ داد، که گونه *F.ovina* با 80 درصد کاهش نسبت به تیمار شاهد خود بیشترین مقدار کاهش را دارا بود و بعد

از آن به ترتیب گیاهان *B.confines*، *A.elongatum*، *F.arundinacea* و *H. vulgare* با میزان 51، 42، 27 و 14/5 درصد کاهش وزن خشک قرار گرفتند.

محتوای رطوبت نسبی گیاه (RWC)

تجزیه واریانس رطوبت نسبی گیاه (جدول 1) وجود تفاوت معنی‌دار آماری ($P\leq0.01$) میان سطوح شوری، گیاه و اثر متقابل سطوح شوری در گیاه را نشان داد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین (شکل 3) اختلاف بیشترین و کمترین مقدار RWC (39 درصد) مربوط به گونه *F.ovina* بود، که به ترتیب در سطوح شاهد و 250 میلی مولار NaCl حاصل شد. به طورکلی در تمامی گیاهان برای هر شش سطح شوری اختلاف آماری معنی-داری وجود داشته و به ترتیب درصد اختلاف میان بیشترین و کمترین مقدار RWC در این گونه‌ها برای *A.elongatum* برابر 14/6، *F.arundinacea* برابر 15/8، *H.vulgare* برابر 16/2، *B.confines* برابر 16/3 درصد و در آخر *F.ovina* برابر 39 درصد بود. به طوری کلی از نمودارهای بدست آمده این نکته حاصل شد که چهار گیاه A.elongatum، *F.arundinacea*، *B.confines* و *H.vulgare* دارای روند کاهشی کمتری نسبت به گیاه *F.ovina* از لحاظ RWC بودند.

پتانسیل آب برگ

تجزیه واریانس پتانسیل آب برگ (جدول 1) تفاوت آماری معنی‌داری ($P\leq0.01$) را میان سطوح شوری، گیاه و اثر متقابل سطوح شوری در گیاه نشان داد. بیشترین مقدار پتانسیل آب برگ نسبت به تیمار شاهد مربوط به گونه *F.ovina* در سطح 250 میلی مولار بود (شکل 4). به طور کلی اختلاف پتانسیل آب برگ در مورد سه گونه با افزایش سطح شوری شدیدتر بوده و به ترتیب بیشترین اختلاف میان سطوح تیمار شاهد و 250 میلی مولار، برای گیاه *F.ovina* (4/05 برابر)، *B.confines* (3/61 برابر) و برای *A.elongatum* (3/24 برابر) بودند. در مورد گونه *F.arundinacea* اختلاف میان سطوح 50 تا 250 میلی مولار NaCl معنی‌دار نبوده و حداکثر اختلاف پتانسیل آب به وجود آمده در این گیاه حدود 2/42 برابر نسبت به تیمار شاهد بود. همچنین در گیاه *H.vulgare* به لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری میان سطوح 50 تا 250 میلی مولار وجود نداشته و حداکثر اختلاف پتانسیل آب میان سطوح شوری این گیاه نسبت به تیمار شاهد 2/14 برابر شد. اگر گونه‌ها را براساس RWC، رتبه‌بندی کنیم. چهار گونه علف گندمی بلند، جو زراعی، علف بره و بروموس داری اختلاف جزئی با یکدیگر هستند ولی گونه فستوکا دارای اختلاف معنی‌دار نسبت به چهار گونه دیگر است (جدول 2). در مورد پتانسیل آب برگ نیز به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار درصد را فستوکا و جو افضل دارا بودند (جدول 2).

میزان سدیم (Na^+)

تجزیه واریانس میزان سدیم (جدول 1) تفاوت آماری معنی‌داری ($P\leq0.01$) میان سطوح شوری، گیاه و اثر متقابل سطوح شوری در گیاه نشان داد. بر اساس مقایسه میانگین (جدول 2 و شکل 5) بیشترین مقدار سدیم ذخیره شده در بافت برگ در مجموع شرایط به ترتیب مربوط به گونه *H.vulgare* با 2/74 میلی‌گرم در گرم وزن خشک و پس از آن به ترتیب *F.arundinacea* (1/76 میلی‌گرم در گرم وزن خشک)، *A.elongatum* (6/64 میلی گرم در گرم وزن خشک)، *B.confines* (6/62 میلی‌گرم در گرم وزن خشک) و *F.ovina* (3/01 میلی-گرم در گرم وزن خشک) بود. روند تغییرات میزان سدیم در سطوح مختلف شوری برای تمام گونه‌ها در شکل 5 مشاهده می‌گردد.

میزان پتاسیم (K^+)

تجزیه واریانس مقادیر پتاسیم نشان داد که تفاوت آماری معنی‌دار ($P\leq0.01$) میان سطوح شوری، گیاه و اثر متقابل سطوح شوری در گیاه دارد (جدول 1). بر اساس مقایسه میانگین (شکل 6) بالاترین مقدار پتاسیم ذخیره شده در بافت برگ در سطح تیمار شاهد مربوط به گونه *H.vulgare* بود و پس از آن به ترتیب *F.arundinacea*، *A.elongatum*، *B.confines* و *F.ovina* قرار گرفتند. در سطح شوری 50 میلی مولار نسبت به شاهد دو گونه *B.confines* و *F.ovina* میزان پتاسیم خود را افزایش دادند که این افزایش در *B.confines* معنی‌دار بود، در حالی‌که در سه گونه دیگر میزان پتاسیم کاهش پیدا کرد که این میزان کاهش در *F.arundinacea* به لحاظ آماری غیر معنی‌دار و در *H.vulgare* و *A.elongatum* معنی‌دار بود. از سطح 50 میلی مولار تا سطح 250 میلی مولار مقدار پتاسیم در تمامی گیاهان کاهش نشان داد، که مقدار این کاهش در برخی سطوح برای برخی گیاهان غیر معنی‌دار بود. بیشترین مقدار پتاسیم ذخیره شده در بافت برگ در مجموع شرایط به ترتیب مربوط به *F.arundinacea* با 7/3 میلی‌گرم در گرم وزن خشک (جدول 2) و پس از آن به ترتیب *H.vulgare* (7/11 میلی‌گرم در گرم وزن خشک)، *A.elongatum* (1/56 میلی گرم در گرم وزن خشک)، *B.confines* (1/55 میلی‌گرم در گرم وزن خشک) و *F.ovina* (1/48 میلی‌گرم در گرم وزن خشک) بود.

بحث

شوری از جمله تنش‌های محیطی است که بر روی رشد گیاهان تاثیر منفی می‌گذارد. معمولاً اولین اثر تنش شوری بر روی گیاهان تنش اسمزی یا خشکی ناشی از شوری است. سیرام و سیراواستا (2002) اظهار داشتند که تجمع نمک در خاک، پتانسیل اسمزی خاک را کاهش می‌دهد. با کاهش پتانسیل اسمزی خاک، جذب آب توسط ریشه‌ها مشکل می‌گردد. این وضعیت حتی در خاک‌های اشباع از آب نیز قابل مشاهده است. در واقع تنش شوری گیاه را در معرض تنش خشکی قرار می‌دهد به طوری که بیشتر علائم فیزیولوژیکی که در زمان تنش خشکی دیده می‌شوند، در هنگام بروز تنش شوری نیز قابل مشاهده‌اند. همان طور که مشاهده شد گونه *F.ovina* دارای بیشترین درصد کاهش وزن‌تر و خشک نسبت به تیمار شاهد خود بود و از همان سطح اولیه شوری (50 میلی مولار) دچار افت وزن تر و خشک شد. سیدیکو و همکاران (2008) اظهار داشتند که وزن تر و خشک در ژنوتیپ‌های حساس براسیکا نیپوس در تنش خشکی و شوری از همان سطوح ابتدایی به طور معنی‌داری کاهش یافت. رضایی و همکاران (2006) در مورد تحمل شوری کلزا گزارش کردند که با افزایش سطح شوری کاهش معنی‌داری در وزن ریشه و اندام هوایی اتفاق می‌افتد. توکلی و همکاران (2010) گزارش کردند که جو رقم افضل دارای بیشترین مقدار وزن خشک است. در این تحقیق نیز *H.vulgare* توانست وزن‌تر و خشک خودش را در برابر شوری تا آخرین سطح بدون کاهش معنی‌دار حفظ کند و *F.arundinacea* تا سطح 200 میلی مولار شوری وزن تر خودش را حفظ کرد و در مورد وزن خشک نیز در تمامی سطوح دچار افت معنی‌دار نشد. اما دو گونه *A.elongatum* و *B.confines* با اینکه در سطح 50 و 100میلی مولار نسبت به دو گونه قبلی برتری داشتند، اما نتوانستند این برتری را در سطوح دیگر حفظ کرده و در سطوح 200 و 250 میلی مولار دچار افت معنی‌دار نسبت به دو گونه *H.vulgare* و *F.arundinacea* شدند. معمولاً تحت شرایط تنش اسمزی و یونی گیاه دچار کاهش وزن می‌شود، لذا می‌توان از این کاهش وزن به میزان تأثیر شوری بر روی گیاه پی برد و ارزش این مسئله زمانی بیشتر می‌شود که هدف عملکرد علوفه باشد. فاروق و همکاران (2009) اظهار داشتند، در بیشتر گیاهان وزن تر و خشک در زمان تنش یک صفت مناسب برای اندازه-گیری است و معمولاً اثر مضر حاصل از این تنش کاهش وزن‌تر و خشک گیاهان است. پس می‌توان گفت وزن تر و خشک می‌توانند تا حدود زیادی نشان دهنده اثر سوء شوری بر روی گیاهان، خصوصا گیاهان علوفه‌ای باشند. اگر بخواهیم گونه‌های مورد مطالعه را براساس این دو صفت رتبه‌بندی کنیم، *H.vulgare* در رتبه نخست و بعد از آن *F.arundinacea*، *A.elongatum*، *B.confines* و در آخر با تفاوت معنی‌داری گونه *F.ovina* قرار می‌گیرد.

در مورد شاخص RWC همانطور که مشاهده شد با افزایش سطوح شوری و کاهش پتانسیل آبی محیط ریشه، چهار گونه *H.vulgare*، *A.elongatum*، *F.arundinacea*، *B.confines* توانستند RWC خود را تا حدود زیادی حفظ کنند و حداکثر کاهش برای این چهار گیاه حدود 14/6 تا 16/3 درصد نسبت تیمار شاهد آن ها بود که در سطح 250 میلی مولار رخ داده است. اما گونه *F.ovina* نتوانست در سطوح بالاتر شوری این برتری را حفظ کند و بیشترین میزان درصد کاهش RWC (40 درصد) را به خود اختصاص داد. سروس و همکاران (1997) نیز در گندم به این نتیجه رسیدند که با افزایش شوری میزان پتانسیل آب و RWC کاهش پیدا می‌کند، اما این کاهش در ارقام متحمل کمتر بود. پینگ و همکاران (2002) در بررسی دو واریته سویا گزارش کردند که واریته حساس تنظیم اسمزی بهتری از خود نسبت به واریته متحمل نشان می‌دهد. مونس و همکاران (2006) شاخص RWC را مناسب برای طرح‌های شوری نمی‌دانند زیرا معتقدند که برگ گیاه در حالت تیمار شوری و غیرشوری به علت داشتن میزان متفاوت سدیم و کلر در درون خود در هنگام شناوری در آب مقادیری متفاوتی از آب را جذب می‌کند که باعث به وجود آمدن نتایج شبه برانگیز می‌شود. به نظر می‌رسد تا حدودی این گفته درست باشد چون نتایج پتانسیل آب برگ نشان داد که به ترتیب *H.vulgare* و *F.arundinacea* پتانسیل آب کمتری نسبت به دو گیاه *B.confines* و *F.ovina* دارند. با این شرایط به نظر می‌رسد شاخص پتانسیل آب برگ خیلی بهتر از شاخص RWC می‌تواند در زمان تنش شوری اختلافات موجود در روابط آبی گیاهان تحت آزمایش را نشان دهد. یوسیف و همکاران (2010) در بررسی دو گونه اسفناج (*Tetragonia tetragonioides*) و چغندرقند (*Beta vulgaris*) گزارش کردند که شوری باعث کاهش RWC و پتانسیل آب برگ در هر دو گونه شد و شدت این مسئله در گیاه حساس‌تر (چغندر قند) شدیدتر بود، حتی اختلافات در شاخص پتانسیل آب برگ معنی‌دار نیز بود. برعکس وایست اسکایا و همکاران (2010) در بررسی تعدادی از گیاهان جو وحشی نتیجه گرفتند که شوری تأثیر زیادی بر روابط آبی این گیاهان نگذاشته و

اختلاف زیادی میان RWC و پتانسیل آب برگ و فشار اسمزی بدست آمده از این گیاهان وجود نداشته است.

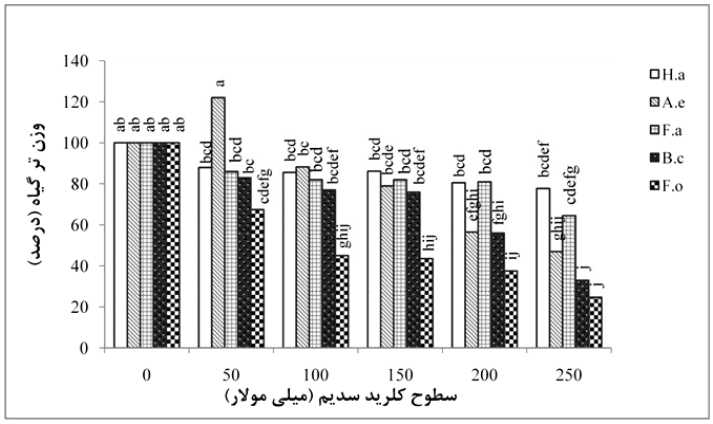
نتایج به دست آمده از *H.vulgare* نشان داد که با اعمال شوری میزان پتاسیم در این گیاه کاهش معنی‌دار پیدا کرد، که در توافق با نتایج چن و همکاران (2005) در دو واریته جو متحمل بود که با اعمال تیمار شوری میزان پتاسیم به طور معنی‌داری کاهش یافته بود. چن و همکاران دلیل این مسئله را همبستگی بسیار منفی میان سدیم و پتاسیم در گیاه جو بیان کردند. مطالعات چن و همکاران (2005) بر روی جو و گندم نشان داد که تنش شوری باعث افزایش جذب سدیم و کاهش جذب پتاسیم شد. همچنین نسبت K^+/Na^+ در برگ‌ها نیز کاهش یافته بود. در این تحقیق بعد از *H.vulgare*، *F.arundinacea* بالاترین میزان ورودی سدیم را داشته و در کنار دو گونه *A.elongatum*، *B.confines* سعی در حفظ سطوح پتاسیمی خود در قبال افزایش ورود سدیم به درون شان داشتند (جدول 2). گراهام (1993) در مورد پتاسیم معتقد است که گیاهانی که بتوانند سطوح پتاسیم برگ‌های جوان خودشان را در زمان تنش شوری بالا نگه دارند تحمل به شوری در آنها بالا رفته است. در مورد اگروپیرون، تحمل بالای گونه اگروپیرون الانگاتوم نسبت به گونه اگروپیرون اینترمیدیم مربوط به میزان جذب بالا K^+ در شرایط شوری بود (الزام و اپستین، 1969). در گونه *F.ovina* با افزایش مقدار سدیم ورودی میزان پتاسیم تغییر چندانی نداشت و مقدار پتاسیم این گونه با یک اختلاف معنی‌دار نسبت به چهار گونه دیگر در سطح پایینی قرار گرفت. رضایی و همکاران (2006) نیز در گیاه گلزا گزارش کردند که شوری میزان جذب پتاسیم را کاهش داده و این کاهش در واریته حساس شدیدتر بود.

با سنجش بر اساس سه شاخص وزن تر، خشک و شیوه تنظیم اسمزی گیاهان مورد آزمایش در این تحقیق در برابر تنش شوری این نتیجه حاصل شد که گیاهی که در هنگام مواجه شدن با تنش شوری وزن تر و خشک خود را حفظ کند و ثانیا تنظیم اسمزی موفقی را نیز انجام دهد می‌تواند به عنوان یک گیاه برتر در تحمل تنش شوری معرفی شود. پس می‌توان نتیجه گرفت که گونه *H.vulgare* در این رتبه بندی در مکان نخست قرار می گیرد، سپس *F.arundinacea*، *A.elongatum* و *B.confines* به ترتیب در رتبه دوم تا چهارم و در رتبه آخر *F.ovina* قرار می‌گیرند.

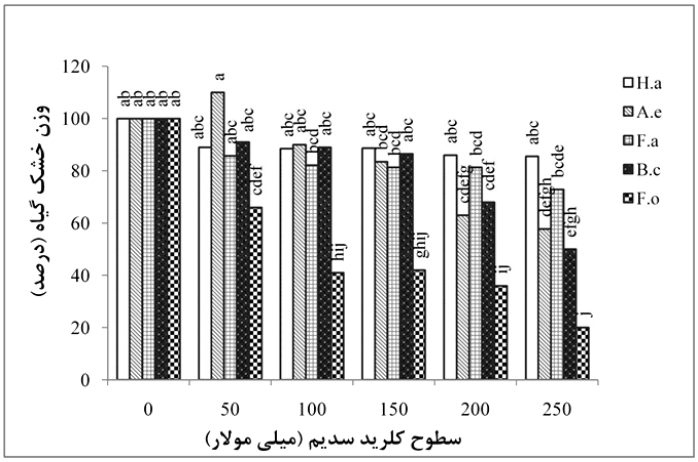
جدول 1- تجزیه واریانس صفات وزن تر، وزن خشک، پتانسیل آب برگ، محتوی نسبی آب، مقدار سدیم و پتاسیم در پنج گونه *H. vulgare*، *A.elongatum*، *F.arundinacea*، *B.confines*، *F.ovina* در سطوح مختلف شوری

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات (MS)					
		وزن تر گیاه	وزن خشک گیاه	پتانسیل آب برگ	سدیم	پتاسیم	RWC
گیاه	4	3333/9**	4296/1**	25007/4**	1/9**	56/5**	371/5**
شوری	5	4966/1**	3491/0**	80893/6**	3/44**	16/7**	883/9**
شوری x گیاه	20	405/0**	404/3**	3340/4**	0/065**	1/2**	61/7**
خطا	60	149/4	190/4	1357/3	0/01	0/08	10/8
CV%		16/29	17/7	16/7	4/29	4/67	3/66

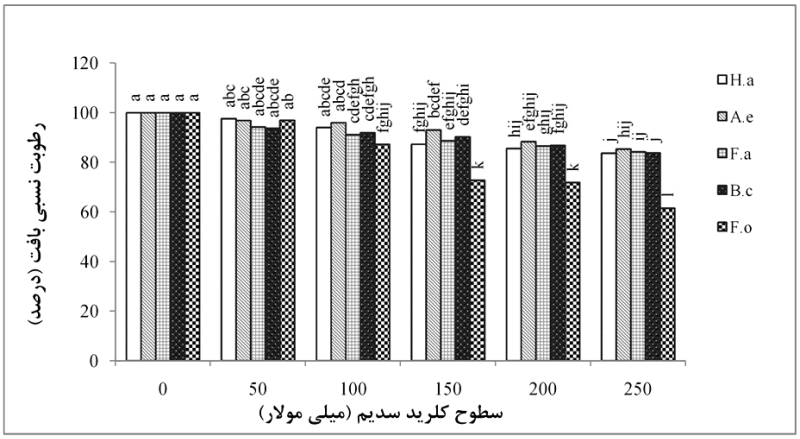
n.s، *، **، به ترتیب عدم تفاوت معنی‌دار و تفاوت معنی‌دار در سطح 5 و 1 درصد



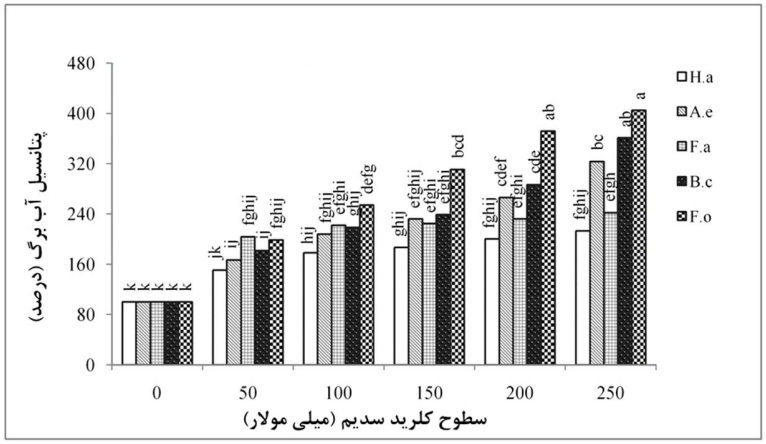
شکل 1- اثر کلرید سدیم بر میانگین وزن تر پنج گونه *H.vulgare*، *A.elongatum*، *F.arundinacea*، *B.confines*، *F.ovina* در سطوح مختلف شوری



شکل 2- اثر کلرید سدیم بر میانگین وزن خشک پنج گونه *H.vulgare*، *A.elongatum*، *F.arundinacea*، *B.confines*، *F.ovina* در سطوح مختلف شوری



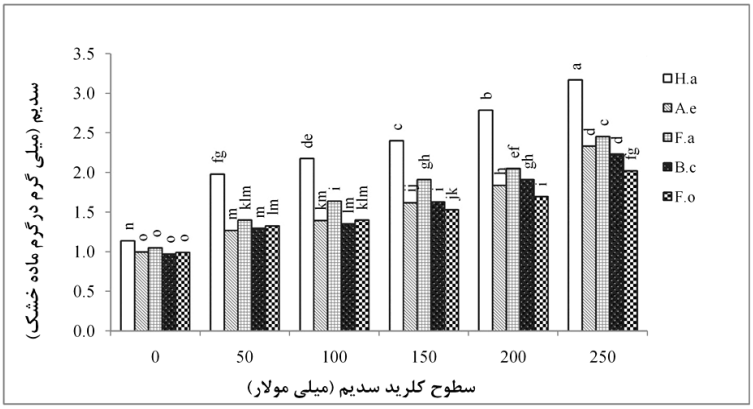
شکل 3- اثر کلرید سدیم بر میانگین RWC پنج گونه *H.vulgare*، *A.elongatum*، *F.arundinacea*، *B.confines*، *F.ovina* در سطوح مختلف شوری



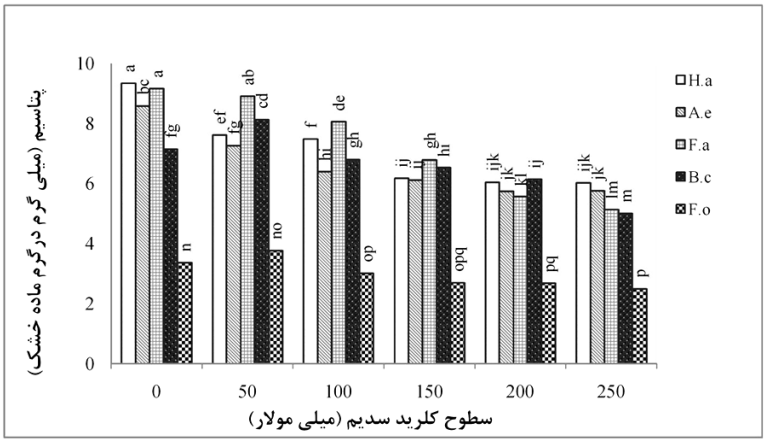
شکل 4- اثر کلرید سدیم بر میانگین درصد پتانسیل آب برگ پنج گونه *H.vulgare*، *A.elongatum*، *F.arundinacea*، *B.confines*، *F.ovina* در سطوح مختلف شوری

جدول 2- مقایسه میانگین اثرات اصلی پنج گونه *H. vulgare*، *A.elongatum*، *F.arundinacea*، *B.confines*، *F.ovina* در مجموع سطوح مختلف شوری (0 تا 250 میلی مولار)

صفات	*A.elongatum*	*B.confines*	*F.arundinacea*	*F.ovina*	*H. vulgar*
وزن تر (gr)	81/9 a	70/91 b	82/41 a	52/86 c	86/83 a
وزن خشک (gr)	84/37 a	80/8 a	83/81 a	50/82 b	86/6 a
رطوبت نسبی، RWC (%)	93/27 a	91/1 ab	91/05 ab	81/71 c	91/38 ab
سدیم ($mg.g^{-1}$)	1/55 c	1/56 c	1/76 b	1/48 d	2/74 a
پتاسیم ($mg.g^{-1}$)	6/64 b	6/62 b	7/3 a	3/01 c	7/11 a
پتانسیل آب برگ (bar)	216/53 bc	231/57 b	204/55 c	273/82 a	172/29 d



شکل 5- اثر کلرید سدیم بر روی میزان سدیم پنج گونه *H.vulgare*، *A.elongatum*، *F.arundinacea*، *B.confines*، *F.ovina* در سطوح مختلف شوری



شکل 6- اثر کلرید سدیم بر روی میزان پتاسیم پنج گیاه *H.vulgare*، *A.elongatum*، *F.arundinacea*، *B.confines* و *F.ovina* در سطوح مختلف شوری

فهرست منابع:

1. Ashraf, M. 2002. Salt tolerance of cotton: some new advances. Crit. Rev. Plant Sci. 21(1):1-30.
2. Cerus, C.M., R.J. Suido, and C.A. Barassi. 1997. Shoot growth and water status in Azospirillum inoculated with seedlings grown under osmotic and salt stresses. Plant Physiol. Biochem. 35:939-994.
3. Chen, Z., I. Newman, M. Zhou, N. Mendham, G. Zhang, and S. Shabala. 2005. Screening plants for salt tolerance by measuring K^+ flux: a case study for barley. Plant Cell Environ. 28:1230-1246.
4. Elzam, O.E., and E. Epstein. 1969. Salt relation of two grass species differing in salt tolerance I. Growth and salt content at different salt concentrations. II. Kinetics of the absorption of K^+, Na^+ and Cl^- by their excised roots. Agrochimica, 13:190-196.
5. Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and S.M.A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agron. Sustain. Dev. 29:185-212.
6. Greenway, H., and R. Munns. 1980. Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. Rev. Plant Physiol. 31:149-190.
7. Gorham, J., J. Bridges, J. Dubcovsky, J. Dvorak, P.A. Hollington, M.C. Luo, and J.A. Khan. 1997. Genetic analysis and physiology of a trait for enhanced K^+/Na^+ discrimination in wheat. New Phytol. 137:109-116.
8. Khoshkolgh Sima, N.A., H. Askari, H.H. Moirzaei, and M. Pessarakli. 2009. Genotepe-depenent differential responses of three forage species to calcium supplement in saline conditions. J. Plant Nut. 32:579-597.
9. Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant Cell Environ. 25:239-250.
10. Munns, R., R.A. James, and A. Lauchli. 2006. Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. J. Exp. Bot. 57:1025-1043.
11. Munns, R., and M. Tester. 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annu. Rev. Plant Biol. 59:651-668.
12. Ping, A., S. Inanaga, Y. Cohen, U. Kafkafi, and Y. Sugimoto. 2002. Salt tolerance in two soybean cultivars. J. Plant Nutr. 25:407-423.
13. Rezaei, H., N.A. KhoshKholgh Sima, M.J. Malakouti, and M. Pessarakli. 2006. Salt tolerance of canola in relation to accumulation and Xylem transportation of cations. Plant nut. 29:1903-1917.

14. Sairam, R.K. and G.C. Srivastava. 2002. Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long-term salt stress. Plant Sci. 162:897-904.
15. Serraj, R. and T.R. Sinclair. 2002. Osmolyte accumulation: can it really help increase crop yield under drought conditions. Plant Cell Environ. 25:333-341.
16. Siddiqui, Z.S., M.A. Khanl, B.G. Kim, J.S. Huang, and T.R. Kwon. 2008. Physiological Responses of Brassica napus Genotypes to Combined Drought and Salt Stress. Plant Stress. 2:78-83.
17. Shannon, M.C., C.M. Grieve, and L.E. Francois. 1994. Whole-plant response to salinity. In Plant- Environment Interactions. (eds). R.E Wilkinson. Marcel Dekker, New York, pp: 199-244.
18. Tavakoli, F., S. Vazan, F. Moradi, B. Shiran, and K. Sorkheh. 2010. Differential response of salt tolerant and susceptible barley genotypes to salinity stress. J. Crop Improve. 24:244-260.
19. Vysotskaya, L., P.E. Hedley, G. Sharipova, D. Veselov, G. Kudoyarova, J. Morris, and H.J. Jones. 2010. Effect of salinity on water relations of wild barley plants differing in salt tolerance. Aob Plants.(2010:plq006).
20. Yousif, B.S., Y.l. Li, N.T. Nguyen, Y. Massaoka, and H. Saneoka. 2010. Comparative studies in sailinity tolerance between New Zealand Spinach(*Tetragonia tetragonioides) and Chrd (Beta Vulgaris) to salt stress.* Agric. J. 1:19-24.
21. Zaho, G.Q., B.L. Mab, and C.Z. Ren. 2007. Growth, gas exchanges, chlorophyll fluorescence and ion content of naked oat in response to salinity. Crop Sci. 47:123-131.