Iranian Journal of Field Crop Science
Vol 51, No 1, Spring 2020 (163-176)
DOI: 10.22059/ijfcs.2018.258294.654494

علوم گیاهان زراعی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۹ (ص۱۷۶-۱۶۳)

بررسی تحمل به یخزدگی در علف‌های‌هرز جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) و چاودار وحشی (*Secale cereale* L.) در مقایسه با گندم (*Triticum aestivum* L.) در مرحله دو برگی

ابراهیم ایزدی دربندی*[1]، علیرضا حسن فرد[2] و مرضیه عظیمی[3]

۱و۲و۳- به ترتیب دانشیار، دانشجوی دکتری و دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(تاریخ دریافت:۱۳۹۷/٤/۱۰ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۵)

چکیده

در مناطق معتدلی همچون ایران، تحمل به تنش یخزدگی، یکی از عوامل موفقیت گیاهان در کشت پاییزه است. بنابراین ارزیابی تحمل به تنش یخزدگی گیاهان زراعی و علف‌های هرز رایج آن‌ها، ضمن دستیابی به اطلاعاتی در خصوص توان رقابتی آن‌ها در این شرایط، سبب کسب اطلاعات مناسبی در زمینه مدیریت علف‌های‌هرز خواهد شد. به همین منظور، آزمایشی در پاییز سال ۱۳۹٦ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. گندم رقم پیشگام و توده بومی قزل خوشه و علف‌های‌هرز جودره و چاودار وحشی، گیاهان مورد مطالعه بودند که در شرایط طبیعی، تا مرحله دو برگ حقیقی رشد یافتند و سپس در معرض دماهای مورد نظر (دماهای مثبت چهار، صفر، منفی چهار، منفی هشت، ۱۲- ، ۱٦- و ۲۰- درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. نتایج نشان داد که درصد نشت الکترولیت‌ها با کاهش دما از منفی هشت درجه سانتی‌گراد شروع به افزایش کرد و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد به حداکثر میزان خود رسید. درحالی‌که تمام گیاهان تا دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد، بقای ۱۰۰ درصدی خود را حفظ کردند، بقای جودره در این دما، ۳٦ درصد کاهش یافت. میزان بالای LT_{50su} جودره و در نتیجه کاهش سریع‌تر بقای این گیاه، حساسیت بیشتر این گیاه به دماهای یخزدگی را نسبت به سایر گیاهان تأیید کرد. در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد، علف‌هرز جودره با کاهش وزن خشک بیشتری در مقایسه با سایر گیاهان مواجه شد که با توجه به $RDMT_{50}$ بالا، حساسیت بیشتر این گیاه به دماهای یخزدگی را نشان داد، درحالی‌که چاودار وحشی به همراه گندم (رقم پیشگام و توده قزل خوشه)، $RDMT_{50}$ کمتری داشتند و این موضوع نشان‌دهنده توان بالای رقابتی چاودار وحشی در شرایط تنش یخزدگی بود. بین درصد نشت الکترولیت‌ها و درصد بقاء و همچنین درصد بقاء و LT_{50su}، همبستگی منفی و معنی‌داری (به ترتیب $r=-۰/۹۳^{*}$ و $r=-۰/۹۹^{**}$) مشاهده شد؛ بنابراین و بر اساس نتایج آزمایش حاضر، اولویت مدیریت علف‌های‌هرز در مناطقی با شرایط اقلیمی سرد، با چاودار وحشی است.

واژه‌های کلیدی: بقا، تحمل یخزدگی، دمای پنجاه درصد کشندگی، نشت الکترولیت‌ها، وزن خشک.

Evaluation the freezing tolerance of wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) and feral rye (*Secale cereale* L.) compared to wheat (*Triticum aestivum* L.) at the two-leaf stage

Ebrahim Izadi-Darbandi*[1], Alireza Hasanfard[1], Marzieh Azimi[1]
1, Faculty of Agriculture, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad
(Received: July 1, 2018- Accepted: March 6, 2019)

ABSTRACT

In temperate regions such as Iran, freezing stress tolerance is one of the plants success factors in autumn planting. So, evaluation the crops and their common weeds tolerance to the freezing will provide information about their competitive ability in these conditions, and appropriate information on weeds management. For this purpose, a greenhouse experiment was conducted in autumn 2017 in Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. Wheat (Pishgam cultivar and Ghezel khoushe landrace) and wild barley and feral rye weeds were grown up to the two leaves stage in natural conditions and then, were exposed to cold and freezing temperatures (+4, 0, -4, -8, -12, -16 and -20ºC). Results showed that the percentage of electrolyte leakage began to increase by temperature reduction from -8°C to -20°C and reached to its maximum. While all plants maintained their 100% survival to -12°C, wild barley had a 36% reduction in survival at this temperature. The higher LT_{50su} in wild barley and therefore the faster survival reduction confirmed its more sensitivity to freezing temperature than other plants. At -12 °C, wild barley dry weight had higher dry weight reduction declined compared to other plants that due to high $RDMT_{50}$, this plant showed more sensitivity to freezing temperatures while feral rye and Pishgam cultivar and wheat Ghezel khoushe landrace of wheat had less $RDMT_{50,}$ indicating the high competitive ability of feral rye in freezing conditions. There was negative and significant correlation between electrolyte leakage and survival percentage and also survival percentage and LT_{50su} ($r= -0.93^{*}$ and $r=-0.99^{**}$ respectively). Therefore, according to the results of the present experiment, weed management priority in cold climate areas is feral rye.

Keywords: 50% lethal temperature, dry weight, electrolytes leakage, freezing tolerance, survival.

* Corresponding author E-mail: e-izadi@um.ac.ir

مقدمه

جودره (*Hordeum spontaneum* Koch.) و چاودار وحشی (*Secale cereale* L.) از مهم‌ترین علف‌های‌هرز پاییزه مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) و جو (*Hordeum vulgar* L.) هستند که بر اساس بررسی‌های انجام شده، در صورت عدم کنترل مطلوب، منجر به کاهش عملکرد در غلات پاییزه خواهند شد (Baghestani Meybodi *et al.*, 2004; Baghestani Meybodi *et al.*, 2009). تحمل زیاد این گیاهان به شرایط نامساعد محیطی نظیر تنش خشکی و سرما، به همراه انعطاف زیاد در رشد و ظرفیت بالای تولید بذر باعث شده است که در بسیاری از مناطق سرد و معتدل دنیا، به عنوان علف‌های‌هرز کلیدی غلات پاییزه مطرح باشند. در ایران، این دو گیاه به عنوان علف‌های‌هرز مهم مزارع گندم مناطق سردسیر و معتدل معرفی شده‌اند (Baghestani *et al.*, 2004; Najafi *et al.*, 2009). پوشش برگی متراکم، قدرت تولید زیاد پنجه، ارتفاع زیاد، ویژگی دگرآسیبی، شباهت‌های اکولوژیک، بیولوژیک و گیاه‌شناسی زیاد آن‌ها با گندم، سبب شده است که این علف‌های‌هرز، از قدرت رقابتی بیشتری نسبت به گندم برخوردار باشند (Chase *et al.*, 1991; Najafi *et al.*, 2009). از سوی دیگر، تحمل بالای جودره به علف‌کش‌ها و عدم وجود علف‌کش انتخابی جهت کنترل چاودار در مزارع گندم، باعث گسترش روزافزون این دو گیاه در دنیا و ایران شده است (Amini *et al.*, 2006; Zand *et al.*, 2013) به‌طوری‌که در حال حاضر، این علف‌های هرز در مزارع گندم استان‌های اردبیل، کردستان، خوزستان، خراسان، آذربایجان غربی و شرقی، اصفهان و فارس مشکل ساز شده‌اند (Karimi, 2001; Zand *et al.*, 2013). از آن‌جاکه توان رقابتی گونه‌های رقیب، کنترل و به‌ویژه کنترل شیمیایی آن‌ها، تحت تأثیر مستقیم عوامل اقلیمی و تنش‌های مربوط به آن است، ارزیابی تحمل و شایستگی نسبی[1] آن‌ها به تنش‌ها، می‌تواند به عنوان شاخصی مهم در این خصوص در نظر گرفته شود. استفاده از روند تغییرات شاخص‌های رشدی، تولید بذر، ویژگی‌های جوانه‌زنی، خواب بذر و قابلیت رقابت نسبی، از مهم‌ترین صفاتی هستند که در ارزیابی شایستگی گیاهان از جمله علف‌های هرز و گیاهان مهاجم به‌کار می‌روند (Park *et al.*, 2004). در این ارتباط، تنش سرما، از جمله مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که در بسیاری از مناطق دنیا، رشد غلات پاییزه و گیاهان همراه آن‌ها را از طریق صدمه به سلول‌ها و بافت‌های گیاهی محدود می‌کند (Azizi *et al.*, 2007; Pescador *et al.*, 2017). اعتقاد بر این است که این مهم، نه‌تنها بر توان رقابتی و تخصیص منابع در بین علف‌های‌هرز رقیب و گیاهان زراعی همراه آن‌ها مؤثر است، بلکه بر توزیع و پراکنش جغرافیایی آن‌ها و گونه‌های مهاجم نیز تأثیرگذار است. در همین ارتباط، Cici & Acker (2011) در بررسی تحمل به تنش یخزدگی ۱۲ گونه علف‌هرز در مناطق مختلف کانادا دریافتند که تنوع قابل توجهی از نظر تحمل به سرما در بین گونه‌های مورد بررسی وجود دارد. بر اساس مطالعه نامبردگان، گونه‌های علف‌های هرز پاییزه اختیاری، به دلیل تحمل بالای آن‌ها به تنش سرما، ضمن این‌که از نظر گستره زمانی حضور در مزارع (بهار و پاییز) موفق‌تر بودند، گستره مکانی بیشتری نیز داشتند. در مطالعه مذکور، علف‌های‌هرز *Crepis tectorum* L.، گونه‌ای بنفشه (*Viola arvensis* Murr.) و تالاسپی (*Thlaspi arvense* L.) متحمل‌ترین علف‌های‌هرز به تنش یخزدگی گزارش شدند. همچنین در این علف‌های‌هرز، تا دمای ۱۴- درجه سانتی‌گراد، هیچ‌گونه علائم ظاهری مشاهده نشد و علف جارو (*Bassia scoparia*) به عنوان حساس‌ترین علف‌هرز به تنش یخزدگی گزارش شد. در مطالعه‌ای دیگر که به‌منظور بررسی دو گونه جگن *Juncus effusus* و *J. conglomeratus* در نواحی ساحلی نروژ به عنوان گونه‌های هرز غالب انجام شد، اختلاف معنی‌داری در تحمل دو گونه به تنش یخزدگی مشاهده نشد (Østrem *et al.*, 2018). بر اساس نتایج این مطالعه، غالبیت گونه *effusus* نسبت به گونه *conglomeratus*. در مراتع و سواحل نروژ، به دلیل اختلاف در تحمل به

[1]. Relative fitness

سرما و یخزدگی آن‌ها نبود، بلکه به کارایی فتوسنتزی بالاتر در گونه *J. effusus* مربوط می‌شد. احتمالاً کارایی بالای فتوسنتزی نیز انرژی لازم برای خوسرمایی[۱] را فراهم ساخته است (Huner *et al*., 1998).

توانایی گونه‌های گیاهی مختلف در تحمل به دمای پایین بسیار متفاوت است. به‌طوری‌که گونه‌های حساس به سرمازدگی در نواحی گرمسیری، ممکن است حتی در دماهای بالاتر از صفر درجه سانتی‌گراد نیز آسیب زیادی ببینند درحالی‌که گیاهان مقاوم به سرما، به دلیل وجود مکانیسم‌های سازگار با شرایط مذکور، از تحمل بیشتری به سرما برخوردار هستند (Boyer, 1982; Sakai & Larcher, 1987; Dionne *et al*., 2001; Azizi *et al*., 2007). از مهم‌ترین مکانیسم‌های شناخته‌شده در این خصوص می‌توان به خوسرمایی اشاره کرد که تکامل آن در غلات و گیاهان پائیزه، آن‌ها را قادر کرده است که در شرایط تنش یخزدگی زنده بمانند (Nezami *et al*., 2010). همچنین گیاهان تحت تأثیر خوسرمایی، با افزایش سطوح متابولیت‌ها و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تحمل به اثرات مخرب تنش یخزدگی را افزایش می‌دهند (Kocsy *et al*., 2001). هرچند این مسئله از دیدگاه زراعی بسیار مورد توجه است و مطالعات متعددی در این ارتباط انجام شده است، اما در خصوص تحمل به یخزدگی گونه‌های هرز رقیب با گیاهان زراعی که یکی از شاخص‌های شایستگی نسبی آن‌ها در رقابت با گیاهان می‌تواند باشد، تحقیقات کمتری انجام شده است (Cousens *et al*., 1991; Nezami *et al*., 2010). علاوه بر این، اگرچه مکانیسم‌های تنش سرما در گیاهان، به‌طور گسترده‌ای در طول ۲۰ سال اخیر مورد مطالعه قرار گرفته است، اما مکانیسم‌های کامل درک اثرات دماهای پایین توسط گیاهان، هنوز ناشناخته باقی‌مانده است؛ بنابراین درک مکانیسم‌هایی که فرآیند سازگاری به سرما را هدایت می کنند ضروری است (Zhang *et al*., 2017; Coiner *et al*., 2018).

تنش‌های محیطی و از جمله تنش یخزدگی، به عنوان شاخصی در ارزیابی شایستگی گیاهان از جمله علف‌های‌هرز و گیاهان زراعی محسوب شود. به بیانی دیگر، تحمل به تنش یخزدگی، احتمالاً در استقرار و توان رقابتی گونه‌های رقیب مؤثر است؛ بنابراین با توجه به تعریف شایستگی، یعنی توانایی استقرار، بقاء و زادآوری موفق علف‌های‌هرز در شرایط عدم کاربرد علف-کش، تحمل به یخزدگی به عنوان یکی از اجزای شایستگی محسوب می‌شود که می‌تواند منجر به تولید بذر (نتاج) بیشتر در نسل‌های بعدی شود. در نتیجه، مطالعات مربوط به تحمل به تنش یخزدگی، در زمینه ارزیابی شایستگی علف‌های‌هرز نیز مؤثر خواهد بود. به-علاوه، ازآن‌جاکه چاودار وحشی و جودره، از مشکل‌سازترین علف‌های‌هرز مزارع گندم پاییزه ایران به شمار می‌آیند و تاکنون مطالعاتی در خصوص ارزیابی تحمل و شایستگی نسبی به تنش سرما و یخزدگی در آن‌ها انجام نشده است، این مطالعه با استفاده از آزمون‌های نشت الکترولیت‌ها، بقا و ارزیابی زیست‌توده گیاهان انجام شد. اطلاع از میزان تحمل چاودار و جودره در مقایسه با ارقام و توده‌های گندم، ضمن این‌که اطلاعات پایه در خصوص تحمل به تنش سرما و یخزدگی در این گیاهان به عنوان منابع ژرم‌پلاسم را تقویت می‌کند، در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی آن‌ها در طول فصول سرما نیز مفید خواهد بود.

مواد و روش‌ها

تیمارهای آزمایش

این مطالعه باهدف ارزیابی تحمل به تنش یخزدگی در گندم و علف‌های‌هرز جودره و چاودار وحشی، در گلخانه تحقیقاتی و آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل گیاهان (چهار گیاه: رقم پیشگام گندم، توده بومی قزل خوشه گندم کلات، جودره و چاودار وحشی) و دما (در هفت سطح شامل مثبت چهار به عنوان شاهد، صفر، منفی چهار، منفی هشت، ۱۲-، ۱۶-، ۲۰- درجه سانتی‌گراد) بودند. بذر علف‌های‌هرز مورد مطالعه، از مزارع آلوده گندم در مشهد، بذر رقم پیشگام گندم از مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی و توده بومی قزل خوشه گندم

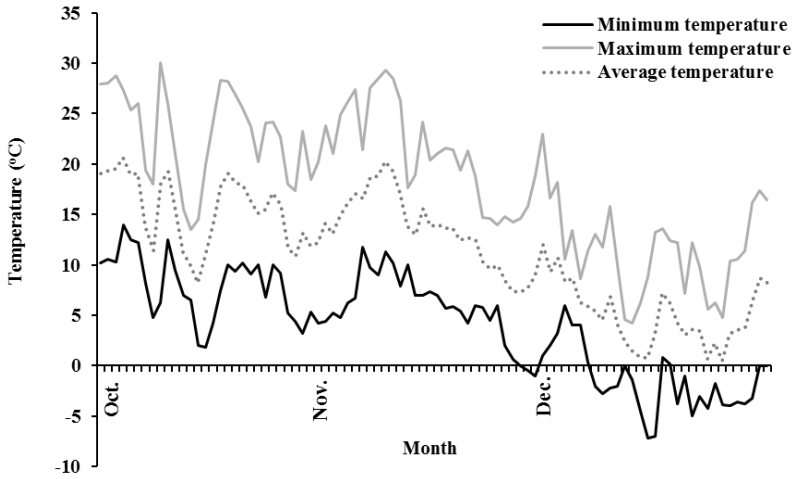
---

۱. Cold acclimation

از طریق جهاد کشاورزی شهرستان کلات نادری و از کشاورزان محلی تهیه شدند.

عملیات آماده‌سازی، کاشت و استقرار گیاهان

بذرها در اواسط آبان ماه سال ۱۳۹۶، در گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۱۲ سانتی‌متر و حاوی خاک مزرعه، خاک‌برگ و ماسه به نسبت برابر کشت شدند. در مورد بذرهای جودره، با توجه به اثبات وجود خواب این بذرها در آزمایش‌های اولیه جوانه‌زنی، قبل از کاشت، خواب این بذرها پس از قرار گرفتن در محلول نیترات پتاسیم ۰/۲ درصد، به مدت سه روز و در دمای پنج درجه سانتی‌گراد برطرف شد. به‌منظور تطابق با سرما، گلدان‌ها از مرحله کاشت تا مرحله دو برگی حقیقی (حدود سه هفته) در شرایط طبیعی و خارج از گلخانه نگهداری شدند (روند تغییرات دمای مشهد از مهرماه تا آذرماه در شکل ۱ نشان داده شده است) و پس از گذراندن دوره خوسرمایی، در مرحله دو برگی حقیقی، تحت تیمار یخزدگی قرار گرفتند.



شکل ۱- دماهای حداقل، حداکثر و میانگین پاییز ۱۳۹۶ در مشهد.
Figure 1. Mashhad minimum, maximum and average temperatures in autumn 2017.

اعمال تیمار یخزدگی

تیمارهای یخزدگی با استفاده از فریزر ترموگرادیان اعمال شدند. برای این کار، در ابتدا تمام گلدان‌ها (شامل تمام تیمارها و تکرارهای آن‌ها) در فریزر قرار گرفتند. دمای فریزر در شروع آزمایش پنج درجه سانتی‌گراد بود و پس از آن به نحوی تنظیم شد که با سرعت دو درجه سانتی‌گراد در ساعت کاهش یابد تا به دمای مورد نظر در تیمارهای آزمایش برسد. جهت جلوگیری از پدیده فراسرمایی[1] و ایجاد هستک یخ[2] در گیاه‌چه‌ها (Lindow *et al.*, 1982) و همچنین کسب اطمینان از مقاومت گیاه‌چه‌ها به دماهای یخزدگی از نوع تحمل[3] (نه از نوع اجتناب[4])، در دمای منفی سه درجه سانتی‌گراد، بر روی گیاه‌چه‌ها محلول باکتری‌های فعال مولد هستک یخ[5] پاشیده شد، به‌طوری‌که قشر نازکی بر روی بوته‌ها قرار گیرد. گیاهان به مدت یک ساعت در هر یک از دماهای مورد نظر نگهداری شدند و سپس از فریزر خارج شدند و به منظور جلوگیری از ذوب سریع یخ، بلافاصله به اتاقک رشد با دمای ۵±۲ درجه سانتی‌گراد که در مجاورت فریزر قرار گرفته بود، منتقل شدند و به مدت حدوداً ۲۴ ساعت در آن باقی ماندند (Nezami *et al.*, 2010).

ارزیابی نشت الکترولیت‌ها

میزان خسارت ناشی از تنش یخزدگی به غشای سلولی،

1. Super cooling
2. Ice nuclei
3. Tolerance
4. Avoidance
5. Ice Nucleation Active Bacteria (INAB)

از طریق اندازه‌گیری میزان نشت الکترولیت‌ها ارزیابی شد. بدین منظور، از هر گلدان یک بوته کامل دارای دو برگ حقیقی کاملاً توسعه‌یافته جدا شد و در داخل ویال‌هایی حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه قرار گرفت (Azzarello *et al*., 2009; Waalen *et al*., 2011). به‌منظور تعادل کامل الکترولیت‌های تراوش شده از نمونه‌ها، ویال‌ها به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند و پس از آن میزان نشت الکترولیت‌ها با استفاده از دستگاه رسانایی سنج الکتریکی[1] (مدل jenway) اندازه‌گیری شد و به عنوان EC_1[2] ثبت شد (Waalen *et al*., 2011). برای تعیین میزان کل نشت الکترولیت‌ها در اثر مرگ سلول، ویال‌ها به اتوکلاوی با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱/۲ اتمسفر انتقال داده شدند و به مدت ۳۰ دقیقه نگهداری شدند. سپس به مدت ۲۴ ساعت در محیط آزمایشگاه قرار گرفتند و مجدداً هدایت الکتریکی آن‌ها، تحت عنوان EC_2 اندازه‌گیری و ثبت شد. در ادامه، درصد نشت الکترولیت‌ها (EL%[3]) با استفاده از معادله (۱) محاسبه شد.

معادله (۱) $$EL\% = EC_1/EC_2 \times 100$$

دمای ۵۰ درصد کشندگی بر اساس درصد نشت الکترولیت‌ها (LT_{50el}[4])، بر اساس روش اندرسون و پس از ترسیم نمودار درصد نشت الکترولیت‌های هر تیمار در مقابل دماهای یخزدگی تعیین شد (معادله ۲) (Anderson *et al*., 1988).

معادله (۲)

$$Elp= Eli + (Elm – Eli) / (1+ e^{-B (T-Tm)})$$

در این معادله: Elp، میزان نشت الکترولیت‌های پیش‌بینی‌شده؛ e، تابع‌نمایی؛ Eli، حداقل میزان نشت الکترولیت‌ها در دماهای مختلف؛ Elm، حداکثر میزان نشت الکترولیت‌ها در دماهای مختلف؛ B، سرعت افزایش شیب منحنی؛ T، دما و Tm، نقطه عطف منحنی به عنوان نقطه میانی بین بخش بالایی و پایینی خط منحنی و نشان‌دهنده دمایی که باعث خروج ۵۰ درصد الکترولیت‌ها (LT_{50el}) از سلول شده است، می‌باشد.

ارزیابی بقا و بازیافت گیاهان

به‌منظور تعیین درصد بقا و بازیافت[5] (بهبود) گیاهان، گلدان‌ها به گلخانه منتقل شدند و به مدت ۲۱ روز در آنجا نگهداری شدند. سپس بقا و وزن خشک گیاهان مورد ارزیابی قرار گرفتند (Gusta *et al*., 2001). برای تعیین درصد بقای گیاهان، تعداد گیاهان زنده قبل از اعمال تنش یخزدگی و ۲۱ روز پس از اعمال تنش یخزدگی شمارش شدند و درصد بقا از طریق معادله (۳) محاسبه شد.

معادله (۳):

(تعداد ۲۱ روز پس از تیمار یخزدگی) =درصد بقا

۱۰۰×گیاهان قبل از تیمار یخزدگی/تعداد گیاهان زنده

همچنین وزن خشک تمام گیاهان زنده موجود در تمام گلدان‌ها (با قرارگیری در آون دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت)، با استفاده از ترازوی دیجیتال و با دقت توزین یک میلی‌گرم اندازه‌گیری و ثبت شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها توسط نرم‌افزار Minitab 17 انجام گرفت. آزمایش برای صفات درصد نشت الکترولیت‌ها، درصد بقا و وزن خشک گیاهان، به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی (شامل دو عامل گیاه با چهار سطح و دما با هفت سطح) و برای صفات LT_{50el}، LT_{50su} و $RDMT_{50}$، به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای تعیین LT_{50el} از نرم‌افزار Slide Write V7.01 استفاده شد. همچنین دمای کشنده برای ۵۰ درصد نمونه‌ها بر اساس درصد بقاء (LT_{50su}[6]) و دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک گیاهان ($RDMT_{50}$[7])، با استفاده از رسم نمودار این صفات در مقابل دماهای یخزدگی (Nezami *et al*., 2010) و توسط نرم‌افزار CurveExpert Professional تعیین شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) و در سطح

---

1. Electrical Conductivity-meter (EC meter)
2. Electrical Conductivity (EC)
3. Electrolytes Leakage (EL)
4. Lethal Temperature 50% of Plants According to the Electrolyte Leakage Percentage (LT_{50el})
5. Recovery
6. Lethal Temperature 50% of Plants According to the Survival Percentage (LT_{50su})
7. Reduced Dry Matter Temperature 50% ($RDMT_{50}$)

احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

درصد نشت الکترولیت‌ها

مطابق جدول ۱ درصد نشت الکترولیت‌ها در چهار گیاه مورد بررسی تفاوت معنی‌داری داشتند. بیشترین درصد نشت الکترولیت‌ها (۴۹ درصد) در علف‌هرز جودره اتفاق افتاد (شکل ۲). همچنین در سایر گیاهان، درصد نشت الکترولیت‌ها از نظر آماری تفاوتی با یکدیگر نداشتند. این بخش از نتایج نشان می‌دهد که غشاء سلولی علف‌هرز جودره، آسیب بیشتری در مقایسه با سایر گیاهان متحمل شده است و حساسیت بیشتری به دماهای یخزدگی دارد. در همین راستا، آزمایش تحمل به یخزدگی در ارقام جو نشان داد که برگ رقم والفجر و رقم کارون×کویر، به ترتیب بیشترین و کمترین درصد نشت الکترولیت‌ها را داشتند (Nezami *et al*., 2010).

درصد نشت الکترولیت‌ها تحت تاثیر دماهای مورد بررسی، معنی‌دار بود (جدول ۱). هرچند کاهش دما از چهار درجه سانتی‌گراد تا منفی هشت درجه سانتی‌گراد، تأثیری در تغییر درصد نشت الکترولیت‌ها نداشت، اما کاهش دما از منفی هشت به ۱۲- درجه سانتی‌گراد، سبب افزایش نشت الکترولیت‌ها به میزان ۲۸ درصد شد (افزایش نشت الکترولیت‌ها از ۲۴ به ۵۲ درصد). با افزایش شدت تنش یخزدگی و با کاهش دما از ۱۲- به ۱۶- درجه سانتی‌گراد، شیب افزایش نشت الکترولیت‌ها ادامه داشت، به‌طوری‌که از ۵۲ درصد نشت الکترولیت‌ها در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد، به ۸۶ درصد در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد رسید (افزایش نشت الکترولیت‌ها به میزان ۳۴ درصد در دامنه دمایی ۱۲- تا ۱۶- درجه سانتی‌گراد) و پس از آن تا دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد، روند نسبتاً ثابتی داشت (شکل ۳).

چنین به نظر می‌رسد که کاهش دما از منفی هشت درجه سانتی‌گراد، سبب تخریب شدید غشای سلولی و متعاقب آن نشت شدید مواد از سلول شده است. در این آزمایش، کمترین و بیشترین میزان نشت الکترولیت‌ها به ترتیب در دماهای چهار و ۲۰- درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد. در همین راستا، نتایج ارزیابی وضعیت غشای چند گونه علف چمنی پس از تنش یخزدگی نشان داد که افزایش نشت الکترولیت‌ها از دمای ۷/۵- درجه سانتی‌گراد شروع شد و در دمای ۱۶/۵- درجه سانتی‌گراد، با حدود ۹۰ درصد نشت الکترولیت‌ها در نتیجه افزایش اختلال در ساختار غشا، به حداکثر میزان خود رسید (Nezami *et al*., 2010). همچنین مطالعه Izadi *et al*.(2012) بر روی یولاف‌وحشی (*Avena ludoviciana* L.) نشان داد که کمترین و بیشترین درصد نشت الکترولیت‌ها به ترتیب در دماهای منفی سه و ۱۸- درجه سانتی‌گراد رخ داده است.

درصد بقا

بر اساس جدول ۱، برهمکنش گیاه و دما بر درصد بقا معنی‌دار بود، به‌طوری‌که در گندم (رقم پیشگام و توده قزل خوشه) و علف‌هرز چاودار وحشی، با کاهش دما از ۱۲- به ۱۶- درجه سانتی‌گراد، به سبب مرگ گیاهان در اثر شدت تنش یخزدگی، درصد بقا به صفر رسید (جدول ۲). این درحالی است که کاهش دما از چهار تا ۱۲- درجه سانتی‌گراد، تأثیر معنی‌داری بر درصد بقا نداشت و تمام گیاهان بقای ۱۰۰ درصدی خود را حفظ کردند.

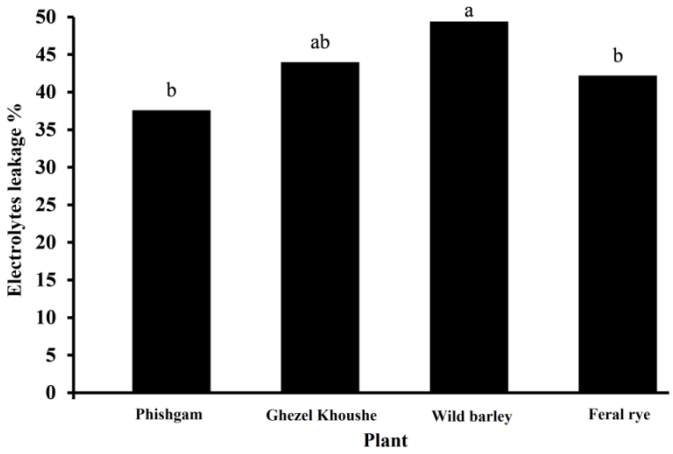
جدول ۱- آنالیز واریانس درصد نشت الکترولیت‌ها، درصد بقا و وزن خشک گندم (رقم پیشگام و توده قزل خوشه) و علف‌های هرز جودره و چاودار وحشی تحت تأثیر تنش یخزدگی.

Table 1. Variance analysis of electrolyte leakages, survival and dry weight of Pishgam cultivar and Ghezel khoushe landrace of wheat, wild barley and feral rye under freezing stress.

Sources of variation	Degree of freedom	Mean of squares		
		EL (%)	Survival (%)	Dry weight
Plant	3	499**	139**	2862**
Temperature	6	12105**	27682**	11602**
Plant×Temperature	18	126^{ns}	139**	209**
Error	56	110	5.3	75
CV(%)		24.2	3.3	21.1

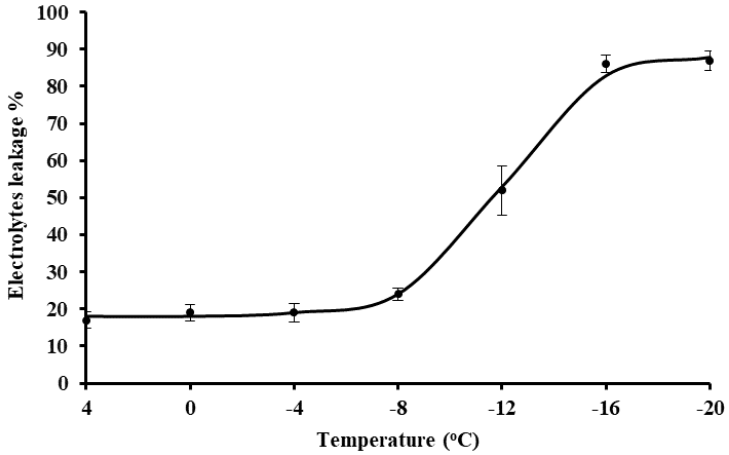
**و ^{ns} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و غیر معنی‌دار.

** and ^{ns}: significant at 1% of probability level and non-significant, respectively.



شکل ۲- میانگین درصد نشت الکترولیت‌ها در گندم (رقم پیشگام و توده قزل خوشه) و علف‌های هرز جودره و چاودار وحشی. میانگین‌هایی با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

Figure 2. Electrolyte leakages mean (%) of wheat (Pishgam and Ghezel khoushe), wild barley and feral rye. Means with same letters are not significantly different according to the LSD ($p \leq 0.05$).



شکل ۳- اثر تنش یخزدگی بر درصد نشت الکترولیت‌ها. خطوط عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد تیمارها می‌باشند. نقاط و منحنی برازش داده شده به ترتیب مربوط به داده‌های اصلی و پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار اسلاید رایت است.

Figure 3. Effect of freezing stress on electrolyte leakages. Vertical lines represent standard errors. Points and fitted curve are related to the original data and predicted data by slide write software, respectively.

احتمالاً این گیاهان، به دلیل خوسرمایی، توانایی تحمل دماهای یخزدگی تا ۱۲- درجه سانتی‌گراد را کسب نمودند و همین مسئله، سبب عدم آسیب به گیاهان و زنده‌مانی آن‌ها تا این دما شده است. خوسرمایی از طریق تغییرات عمده در گیاه، منجر به افزایش توانایی تحمل گیاهان در برابر تنش یخزدگی می‌شود. به عنوان مثال، افزایش نسبت چهار برابری اسیدهای چرب غیراشباع به اشباع طی دوره خوسرمایی در ژنوتیپ مقاوم به سرمای پنجه مرغی (*Cynodon dactylon*) در مقایسه با ژنوتیپ‌های حساس گزارش شده است (Samala *et al*., 1998). در مقابل، علف‌هرز جودره تنها تا دمای منفی هشت درجه سانتی‌گراد، توانایی حفظ بقای ۱۰۰ درصدی خود را داشت (جدول ۲) و با کاهش دما به ۱۲- درجه سانتی‌گراد، بقای آن ۳۶ درصد کاهش یافت. به عبارت دیگر، از دمای منفی هشت تا ۱۲- درجه سانتی‌گراد، به ازای هر درجه کاهش دما، بقا به میزان نه درصد کاهش داشت. شیب تند کاهش درصد بقا از ۱۲- تا ۱۶- درجه سانتی‌گراد ادامه یافت، به‌طوری‌که

ضمن کاهش ۱۶ درصدی بقای جودره به ازای هر درجه سانتی‌گراد کاهش دما (از دمای ۱۲- به ۱۶- درجه سانتی‌گراد)، گیاهان در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد کاملاً از بین رفتند و بقای آن‌ها به صفر رسید. به نظر می‌رسد که جودره به دماهای یخزدگی حساسیت بیشتری دارد و قرارگیری آن در مناطقی با دمای کمتر از منفی هشت درجه سانتی‌گراد، سبب کاهش توان رقابتی آن با سایر گیاهان متحمل، درنتیجه کاهش بقا خواهد شد؛ بنابراین توان رقابتی گونه‌های رقیب، تحت تأثیر مستقیم عوامل اقلیمی و تنش‌های محیطی از جمله تنش یخزدگی است که با تعیین آن می‌توان شایستگی بیوتیپ‌های علف‌های هرز را نسبت به تنش‌های محیطی ارزیابی نمود. همچنین با توجه به این‌که تنش یخزدگی از جمله مهم‌ترین تنش‌های زمستانه است و در اغلب آزمایش‌ها محققان، تحمل به یخزدگی را به عنوان یک شاخص مناسب مورد تأکید قرار می‌دهند، بنابراین تعیین درصد بقای گیاه پس از قرار گرفتن آن در معرض دماهای یخزدگی، به عنوان یکی از شاخص‌های تحمل به سرما معرفی شده است (Hofgaard *et al*., 2003). در آزمایش تحمل به سرما در گندم مشاهده شد که در رقم گلنسون، بقای گیاه تا دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد، تحت تأثیر قرار نگرفت، اما تیمار دمایی ۱۶- درجه سانتی‌گراد، سبب تلفات ۶۷ درصدی در این رقم شد؛ درحالی‌که تمام بوته‌های رقم مارون، در دمای منفی هشت درجه سانتی‌گراد از بین رفتند (Azizi *et al*., 2007).

جدول ۲- مقایسه میانگین درصد بقای گندم (رقم پیشگام و توده قزل خوشه) و علف‌های هرز جودره و چاودار وحشی تحت تأثیر دماهای یخزدگی.

Table 2. Mean comparisons of survival percentage of wheat (Pishgam and Ghezel khoushe), wild barley and feral rye under freezing temperatures.

Temperature (°C)	Plant			
	Wheat cultivar (Pishgam)	Wheat landrace (Ghezel khoushe)	Wild barley	Feral rye
+4	100^{a}	100^{a}	100^{a}	100^{a}
0	100^{a}	100^{a}	100^{a}	100^{a}
-4	100^{a}	100^{a}	100^{a}	100^{a}
-8	100^{a}	100^{a}	100^{a}	100^{a}
-12	100^{a}	100^{a}	64^{b}	100^{a}
-16	0^{c}	0^{c}	0^{c}	0^{c}
-20	0^{c}	0^{c}	0^{c}	0^{c}

میانگین‌هایی با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

Means with same letters are not significantly different according to the LSD ($p \leq 0.05$).

دمای کشنده ۵۰ درصد نمونه‌ها بر اساس درصد بقا

بین گیاهان از نظر دمای کشنده ۵۰ درصد نمونه‌ها بر اساس درصد بقا (LT_{50su})، اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). چنانچه در شکل ۴ مشاهده می‌شود، گندم (رقم پیشگام و توده قزل خوشه) و علف‌هرز چاودار وحشی، دارای LT_{50su} کمتری (منفی‌تری) بودند (۱۴- درجه سانتی‌گراد) که نشان‌دهنده تحمل بالای این گیاهان به تنش یخزدگی نسبت به علف‌هرز جودره بود. جودره با LT_{50su} معادل ۱۲/۸- درجه سانتی‌گراد، سریع‌تر به ۵۰ درصد بقای خود رسیده است که این به مفهوم حساسیت بالای این گیاه به دماهای یخزدگی در مقایسه با سایر گیاهان می‌باشد.

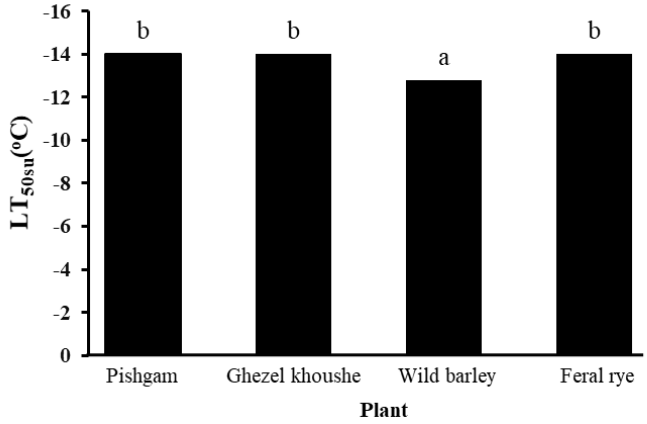
جدول ۳- آنالیز واریانس LT_{50el}، LT_{50su} و $RDMT_{50}$ گندم (رقم پیشگام و توده قزل خوشه) و علف‌های هرز جودره و چاودار وحشی تحت تأثیر تنش یخزدگی.

Table 3. Variance analysis of wheat (Pishgam and Ghezel khoushe), wild barley and feral rye LT_{50el}, LT_{50su} and $RDMT_{50}$ of under freezing stress.

Sources of variation	Degree of freedom	Mean of squares		
		LT_{50el}	LT_{50su}	$RDMT_{50}$
Plant	3	4.1^{ns}	1.1**	8.8*
Error	8	3.3	0.1	1.7
CV (%)		15.1	3.0	12.6

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک درصد و پنج درصد و غیر معنی‌دار.

**, * and ns: are significant at 1% and 5% of probability levels and non-significant, respectively.



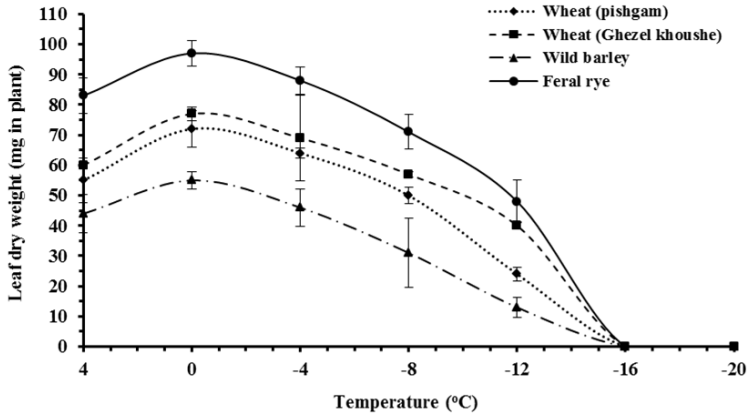
شکل ۴- دمای ۵۰ درصد کشندگی بر اساس درصد بقا (LT_{50su}) گندم (رقم پیشگام و توده قزل خوشه) و علف‌های هرز جودره و چاودار وحشی. میانگین‌هایی با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

Figure 4. Lethal temperature of 50% of plants according to the survival percentage (LT_{50su}) of wheat (Pishgam and Ghezel khoushe), wild barley and feral rye. Means with the same letters are not significantly different according to the LSD ($p \leq 0.05$).

در بررسی ارقام مختلف گندم در تحمل به تنش یخ‌زدگی مشخص شد که رقم نورستار[1] و چوکار[2] به ترتیب با LT_{50} معادل ۱۹/۵- و ۱۳- درجه سانتی‌گراد، از متحمل‌ترین و حساس‌ترین ارقام مورد مطالعه بودند (Skinner & Garland, 2008). Gusta *et al*. (2004) بیان کردند که LT_{50su} کم در گیاهان، احتمالا نشان‌دهنده خوسرمایی کامل و LT_{50su} زیاد، نمایانگر عدم خوسرمایی یا خوسرمایی جزئی در آن‌ها است.

وزن خشک

برهمکنش گیاه و دما بر وزن خشک گیاهان معنی‌دار بود (جدول ۱). در بررسی روند تغییرات وزن خشک گیاهان (کل سطح سبز در گیاهان زنده)، بیشترین و کمترین وزن خشک در گیاهان زنده، به ترتیب در چاودار وحشی در دمای صفر درجه سانتی‌گراد و جودره در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (شکل ۵). در علف‌هرز جودره، کاهش وزن خشک در دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای شاهد (چهار درجه سانتی‌گراد)، ۷۰ درصد بود (۴/۴ درصد کاهش وزن خشک به ازای هر درجه سانتی‌گراد کاهش دما). این در حالی است که در گندم رقم پیشگام، گندم توده قزل خوشه و چاودار وحشی، این کاهش به ترتیب ۵۶، ۳۳ و ۴۲ درصد (۳/۵، ۲/۱ و ۲/۶ درصد کاهش وزن خشک به ازای هر درجه سانتی‌گراد کاهش دما) بود (شکل ۵).



شکل ۵- اثر دماهای یخ‌زدگی بر وزن خشک گندم (رقم پیشگام و توده قزل خوشه) و علف‌های هرز جودره و چاودار وحشی، ۲۱ روز پس از اعمال تنش یخ‌زدگی. خطوط عمودی نشان‌دهنده خطای استاندارد تیمارها می‌باشند.

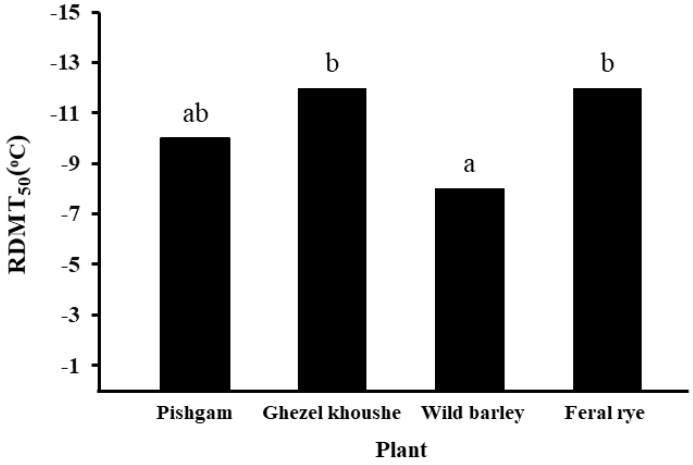
Figure 5. Effect of freezing temperatures on dry weight of wheat (Pishgam and Ghezel khoushe), wild barley and feral rye, 21 days after freezing stress. Vertical lines represent standard errors.

[1]. Norstar
[2]. Chukar

در همین راستا، نتایج آزمایشی بر روی شش رقم بوفالوگراس[1] (*Buchloe dactyloides*) نشان داد که کاهش دمای یخزدگی از منفی هشت به ۱۲- درجه سانتی‌گراد، سبب کاهش ۶۰ درصدی وزن خشک در رقم حساس شد (Qian *et al*., 2001). همچنین در مطالعاتی مشابه، محققان دریافتند که کاهش دما، سبب کاهش وزن خشک و رشد دوباره گیاهان می‌شود که در نهایت می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به همراه داشته باشد (Equiza *et al*., 2001; Ercoli *et al*., 2004)؛ بنابراین از آزمایش حاضر می‌توان چنین نتیجه گرفت که جودره، علاوه بر این که در دمای شاهد، وزن خشک کمتری را نسبت به سایر گیاهان مورد بررسی داشت، کاهش دماهای یخزدگی نیز به شدت بر روی این گیاه تأثیر نامطلوب گذاشت و سبب کاهش وزن خشک بیشتر آن شد؛ بنابراین در شرایط برابر در این آزمایش، جودره حساس‌ترین گیاه به کاهش دما بود و به ترتیب توده بومی قزل خوشه، چاودار وحشی و گندم رقم پیشگام، تحمل بیشتری نسبت به دماهای یخزدگی در خصوص صفت وزن خشک و در مقایسه با جودره داشتند. همچنین افزایش وزن خشک از دمای چهار به صفر درجه سانتی‌گراد، احتمالاً به دلیل توانایی گرامینه ها در واکنش به سرما در جهت سازگاری به شرایط محیطی بوده است. همچنین نمونه‌هایی که در معرض دمای صفر درجه سانتی‌گراد بودند، به احتمال زیاد نسبت به نمونه‌هایی که در معرض دمای چهار درجه سانتی‌گراد بودند، دوره خوسرمایی مناسب‌تری داشتند (Gusta *et al*., 2004)؛ از این رو دمای چهار درجه سانتی‌گراد، وزن خشک کم‌تری در مقایسه با دمای صفر درجه سانتی‌گراد داشت. سرانجام با تشدید کاهش دما، کاهش وزن خشک نیز شدت یافت و در دمای ۱۶- درجه سانتی‌گراد، به علت مرگ کامل گیاهان، وزن خشک به صفر رسید.

دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک گیاهان

بین گیاهان از لحاظ دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک، تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۳). کمترین دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک به گندم پیشگام، گندم قزل خوشه و چاودار وحشی متعلق بود و بیشترین میزان آن (معادل منفی هشت درجه سانتی‌گراد) به جودره تعلق داشت (شکل ۶).



شکل ۶- دمای کاهنده ۵۰ درصد وزن خشک ($RDMT_{50}$) گندم (رقم پیشگام و توده قزل خوشه) و علف‌های هرز جودره و چاودار وحشی. میانگین‌هایی با حروف مشابه، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD ندارند.

Figure 6. Reduced dry matter temperature for 50% ($RDMT_{50}$) of wheat genotypes (Pishgam and Ghezel khoushe), wild barley and feral rye. Means with the same letters are not significantly different according to the LSD ($p \leq 0.05$).

[1]. Buffalo grass

به نظر می‌رسد که جودره سریع‌تر از سایر گیاهان به کاهش ۵۰ درصدی وزن خشک رسیده است که مبین حساسیت بالای آن نیز می‌باشد (هرچند تفاوت معنی‌داری با گندم رقم پیشگام نداشت). این در حالی است که علف‌هرز چاودار وحشی به همراه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گندم (پیشگام و قزل خوشه)، با کمترین میزان $RDMT_{50}$، تحمل بیشتری به دماهای یخزدگی داشتند.

نتایج $RDMT_{50}$ این آزمایش نشان می‌دهد که چاودار وحشی قابلیت رقابت بالا با گندم‌های مورد مطالعه جهت حفظ وزن خشک در دماهای پایین و برابر را دارد و احتمالاً یکی از دلایل رقابت جدی چاودار وحشی در مزارع غلات پاییزه و از جمله گندم، توانایی بالای تحمل آن در برابر عوامل تنش‌زا همچون تنش یخزدگی باشد. همچنین جودره با وجود $RDMT_{50}$ بالا (حساسیت بیشتر به دماهای یخزدگی) نسبت به چاودار وحشی و توده قزل خوشه گندم، قابلیت رقابت با رقم پیشگام گندم (به سبب $RDMT_{50}$ غیر معنی‌دار) را دارد. در کل در مناطقی با شرایط دمایی پایین، حضور علف‌هرز چاودار وحشی به عنوان یکی از مهم‌ترین علف‌های هرز مزارع گندم نسبت به جودره محتمل‌تر است و به لحاظ رقابتی و از نظر حفظ زیست‌توده در شرایط دماهای یخزدگی، احتمالاً شرایط مساعدتری را برای بهبود دارد. در همین راستا، نتایج آزمایش Izadi *et al.* (2012) در بررسی اثر تنش یخزدگی در یولاف‌وحشی (*Avena ludoviciana* L.) نشان داد که بیشترین میزان $RDMT_{50}$ در ژنوتیپ SKH (۹/۵- درجه سانتی‌گراد) و کمترین آن در ژنوتیپ SM (۱۳/۷- درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد. با توجه به منشأ این دو ژنوتیپ (SKH خوزستان و SM مشهد)، احتمالاً چون اقلیم مشهد نسبت به خوزستان، سرد محسوب می‌شود، توانایی تحمل به دماهای پایین و $RDMT_{50}$ پایین در ژنوتیپ SM منطقی بوده است.

در این آزمایش، بین درصد نشت الکترولیت‌ها و درصد بقا، همبستگی منفی و معنی‌داری ($r= -۰/۹۳^{*}$) مشاهده شد (جدول ۴) که نشان‌دهنده کاهش درصد بقا با افزایش درصد نشت الکترولیت‌ها است. در همین راستا در آزمایش‌های متعدد، وجود همبستگی منفی و معنی‌دار بین درصد نشت الکترولیت‌ها و درصد بقا مورد تأیید قرارگرفته است (Rife & Zeinali, 2003) و نتایج تحقیق Janalizadeh *et al.* (2015) بر روی بارهنگ سرنیزه‌ای (*Plantago lanceolata* L.) نیز این مساله را تایید می‌کند ($r= -۰/۷۰^{**}$).

بر اساس جدول ۴، بین درصد بقا و LT_{50su} همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد ($r= -۰/۹۹^{**}$)؛ به این ترتیب که درصد بقای کم، نشان‌دهنده LT_{50su} بالا در گیاهان بود. آزمایش Izadi *et al.* (2015) بر روی یولاف‌وحشی، وجود همبستگی منفی و معنی‌دار بین درصد بقا و LT_{50su} را نشان داد ($r= -۰/۸۲^{**}$)؛ بنابراین استفاده از شاخص LT_{50su} نیز به عنوان معیاری مهم برای تعیین میزان خسارت در اثر تنش یخزدگی محسوب می‌شود.

جدول ۴- ضرایب همبستگی بین درصد نشت الکترولیت‌ها، درصد بقا، وزن خشک، LT_{50el}، LT_{50su} و $RDMT_{50}$ در گندم (رقم پیشگام و توده قزل خوشه) و علف‌های هرز جودره و چاودار وحشی در معرض تنش یخزدگی.

Table 4. Correlation coefficients of electrolyte leakage (%), survival (%), dry weight, LT_{50el}, LT_{50su} and $RDMT_{50}$ in wheat (Pishgam and Ghezel khoushe), wild barley and feral rye exposed to freezing stress.

Trait	1	2	3	4	5	6
EL% (1)	1					
LT_{50el} (2)	0.72^{ns}	1				
Survival% (3)	-0.93^{*}	-0.92^{ns}	1			
LT_{50su} (4)	0.83^{ns}	0.92^{ns}	-0.99^{**}	1		
dry weight (5)	-0.48^{ns}	-0.96^{*}	0.79^{ns}	-0.79^{ns}	1	
$RDMT_{50}$ (6)	0.48^{ns}	0.88^{ns}	-0.88^{ns}	0.88^{ns}	-0.89^{ns}	1

**، * و ns به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و غیر معنی‌دار.

**, * and ns: significant at 1% 5% of probability levels and non-significant, respectively.

نتیجه‌گیری کلی

در این آزمایش، کاهش دما از منفی هشت درجه سانتی‌گراد، باعث افزایش شدید درصد نشت الکترولیت‌ها شد. درصد بقای تمام گیاهان (به‌غیر از

جودره) تا دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد، ۱۰۰ بود که نشان‌دهنده تحمل این گیاهان به دماهای یخزدگی تا این دما است؛ بنابراین بر اساس نتایج این آزمایش، آستانه خسارت دماهای یخزدگی در گندم رقم پیشگام و توده قزل خوشه و چاودار وحشی، ۱۲- درجه سانتی‌گراد است. به عبارت دیگر و بر اساس نتایج این آزمایش، چاودار وحشی در کنار گندم رقم پیشگام و توده قزل خوشه، بقای خود را به‌طور کامل حفظ می‌کند و می‌تواند به عنوان رقیب جدی برای مصرف منابع در مناطقی با دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد و بالاتر محسوب شود. جودره نیز تا دمای منفی هشت درجه سانتی‌گراد، ضمن حفظ بقای کامل می‌تواند در رقابت با گندم باشد. بر اساس نتایج آزمایش حاضر، به نظر می‌رسد که در مناطقی با دماهای کمتر از منفی هشت درجه سانتی‌گراد، جودره توانایی کمتری برای رقابت با گیاهان مورد بررسی داشته باشد و احتمالاً خسارت آن بر روی گیاهان زراعی، به قبل از شروع دماهای یخزدگی متمرکز شود اما چاودار وحشی با توانایی بالا در حفظ بقا و زیست‌توده تا دمای ۱۲- درجه سانتی‌گراد می‌تواند طی فصل زراعی، خسارت خود را به مزارع غلات وارد نماید. همچنین اطلاعات حاصل از این آزمایش نشان می‌دهد که اولویت مدیریت علف‌های‌هرز در مناطقی با شرایط اقلیمی سرد، با چاودار وحشی است و کنترل این علف‌هرز می‌تواند تا حدود زیادی، باعث افزایش قدرت گیاه زراعی جهت استفاده از منابع شود. شایان ذکر است که در این آزمایش، بیشتر، سرماهای زودرس پاییزه و تأثیر آن بر اندام‌های هوایی مدنظر بود اما با توجه به این‌که طوقه در غلاتی که خوسرمایی مناسبی داشته باشند، متحمل‌ترین اندام گیاه به تنش یخزدگی محسوب می‌شود و ارزیابی آن از نظر تحمل به یخزدگی اطلاعات مفیدی را خواهد داشت، از این رو پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، این مهم در بررسی تحمل به یخزدگی گونه‌های مورد بررسی در این مطالعه، مورد توجه و ارزیابی قرار گیرد.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل نتایج طرح پژوهشی مصوب معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی، به شماره ۴۵۵۶۷ می‌باشد که بدین‌وسیله از حمایت‌های آن معاونت محترم تشکر و قدردانی می‌شود.

REFERENCES

1. Amini, R., Sharifzadeh, F., Baghestani, M. A., Mazaheri, D. & Atri, A.R. (2006). Evaluation of effect competition Rye (*Secale cereale* L.) on growth indices of winter wheat. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 1-37 (3), 273-285. (In Persian)
2. Anderson, J. A., Kenna, M. P. & Taliaferro, C. M. (1988). Cold hardiness of midiron and tifgreen bermudagrass. *Horticultural Scince*, 23, 748-750.
3. Azizi, H., Nezami, A., Nassiri Mahallati, M. & Khazaie H. R.(2007). Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum aestivum*) cultivars under controlled conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 5(1), 109-121. (In Persian)
4. Azzarello, E., Mugnai, S., Pandolfi, C., Masi, E., Marone, E., & Mancuso, S. (2009). Comparing image (fractal analysis) and electrochemical (impedance spectroscopy and electrolyte leakage) techniques for the assessment of the freezing tolerance in olive. *Trees*, 23(1), 159.
5. Baghestani Meybodi, M. A., Akbari, G. A., Atri, A. R. & Mokhtari, M. (2004). Competitive effects of rye (*Secale cereale* L.) on growth indices, yield and yield components of wheat. *Pajouhesh & Sazandegi*, 16, 2-11. (In Persian)
6. Baghestani Maybodi, M. A., Sayedipour, H., Zand, E., Minbashi-moeini, M., Maighani, F & Lashkari, A. (2009). Integrated management of wild barley (*Hordeum spontaneum* Koch.) in wheat field under stale seedbed condition. *Journal of Agroecology*, 1, 81-89. (In Persian)
7. Boyer J. S. (1982). Plant productivity and environment. *Science*, 218, 443-448.
8. Chase, W. R., Nair, M. G. & Putnam, A. R. (1991). 2,2-oxo-1,1-azobenzene: selective toxicity of rye (*Secale cereale* L.) allelochemicals to weed and crop species. *Journal of Chemical Ecology*, 17(1), 9-19.
9. Cici, S. Z. H., & Acker, R. C. V. (2011). Relative freezing tolerance of facultative winter annual weeds. *Canadian Journal of Plant Science*, *91*(4), 759-763.
10. Coiner, H. A., Hayhoe, K., Ziska, L. H., Van Dorn, J. & Sage, R. F. (2018). Tolerance of subzero winter cold in kudzu (*Pueraria montana* var. *lobata*). *Oecologia*, 1-11.

11. Cousens R. D., Weaver S. E., Martin T. D., Blair A. M. & Wilson J. (1991). Dynamic of competition between wild oat (*Avena fatua*) and winter cerials. *Weed Research*, 31, 203-210.
12. Dionne J., Castonguay Y., Nadeau P. & Desjardins, Y. (2001). Freezing tolerance and carbohydrate changes during cold acclimation of green-type annual bluegrass (*Poa annua* L.) ecotypes. *Crop Science*, 41, 443-451.
13. Equiza, M. A., Miravé, J. P., & Tognietti, J. A. (2001). Morphological, anatomical and physiological responses related to differential shoot root growth inhibition at low temperature in spring and winter wheat. *Annals of Botany*, 87, 67-76. http://dx.doi.org/10.1006/anbo. 2000.1301.
14. Ercoli, L., Mariotti, M., Masoni, A., & Arduini, I. (2004). Growth responses of sorghum plants to chilling temperature and duration of exposure. *European Journal of Agronomy*, 21, 93-103. http://dx.doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00093-5.
15. Gusta, L. V., O'Connor, B. J., Gao, Y. P., & Jana, S. (2001). A re-evaluation of controlled freeze-tests and controlled environment hardening conditions to estimate the winter survival potential of hardy winter wheats. *Canadian journal of plant Science*, 81(2), 241-246.
16. Gusta, L. V., Wisniewski, M., Nesbitt, N. T., & Gusta, M. L. (2004). The effect of water, sugars, and proteins on the pattern of ice nucleation and propagation in acclimated and nonacclimated canola leaves. *Plant Physiology*, 135(3), 1642-1653.
17. Hofgaard, I. S., Vollsnes, A. V., Marum, P., Larsen, A., & Tronsmo, A. M. (2003). Variation in resistance to different winter stress factors within a full-sib family of perennial ryegrass. *Euphytica*, 134(1), 61-75.
18. Huner, N. P., Öquist, G. & Sarhan, F. (1998). Energy balance and acclimation to light and cold. *Trends in Plant Science*, 3(6), 224-230.
19. Izadi-Darbandi, E., Nezami, A., Abbasian, A. & Heidari, M. (2015). Investigation the relationship betwean herbicide resistance in wild oat biotypes (*Avena ludoviciana* L.) and their freezing tolerance. *Agronomy Journal* (*Pajouhesh & Sazandegi*), 104, 127-133. (In Persian)
20. Izadi-Darbandi, E., Nezami, A., Abbasian, A. & Heidari, M. (2012). Evaluation of freezing tolerance of wild oat (*Avena ludoviciana* L.) using electrolyte leakage test. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 5, 81-94. (In Persian)
21. Janalizadeh, M., Nezami, A., Izadi-Darbandi, E. & Parsa, M. (2015). Evaluation of freeze tolerance in lancelot plantain (*Plantago lanceolata* L.) using electrolytes leakage index. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 8 (1), 109-120. (In Persian)
22. Karimi, H. (2001). *Weeds of Iran*. Tehran Nashr Daneshgahi Publications.
23. Kocsy, G., Galiba, G., & Brunold, C. (2001). Role of glutathione in adaptation and signaling during chilling and cold acclimation in plants. *Physiologia Plantarum*, 113(2), 158-164.
24. Lindow, S. E., Arny, D. C. & Upper, C. D. (1982). Bacterial ice nucleation: a factor in frost injury to plants. *Plant Physiology*, 70, 1084-1089.
25. Najafi, H., Zand, E. & Baghestani, M. A. (2009). Biology and weed management of Iran. *Iranian Research Institute of Plant Protection Publications*.
26. Nezami, A., Nabati, J., Borzooei, A., Kamandi, A., Masomi, A. & Salehi, M. (2010). Evaluation of freezing tolerance in barley (*Hordeum vulgar* L.) cultivars at seedling stage under controlled conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 3, 9-22. (In Persian)
27. Nezami, A., Rezaei, J. & Alizadeh, B. (2010). Evaluation of cold stress tolerance in several species of grasses by electrolyte leakage test. *Journal of Water and Soil*, 24, 1019-1026. (In Persian)
28. Nezami, A., Soleimani, M. R., Ziaee, M., Ghodsi, M. & Bannayan, M. (2010). Evaluation of freezing tolerance of hexaploid triticale genotypes under controlled conditions. *Notulae Scientia Biologicae*, 2(2), 114-120.
29. Østrem, L., Folkestad, J., Solhaug, K. A. & Brandsæter, L. O. (2018). Frost tolerance, regeneration capacity after frost exposure and high photosystem II efficiency during winter and early spring support high winter survival in Juncus spp. *Weed Research*, 58(1), 25-34.
30. Park, K. W., Mallory-Smith, C. A., Ball, D. A. & Mueller-Warrant, G. W. (2004). Ecological fitness of acetolactate synthase inhibitor resistant and susceptible downy brome (*Bromus tectorum*) biotypes. *Weed Science*, 52(5), 768-773.
31. Pescador, D. S., Sánchez, A. M., Luzuriaga, A. L., Sierra-Almeida, A., & Escudero, A. (2017). Winter is coming: plant freezing resistance as a key functional trait for the assembly of annual Mediterranean communities. *Annals of botany*, 121(2), 335-344.

32. Qian, Y. L., Ball, S., Tan, Z., Kodki, A. J. & Wilhelm, S. J. (2001). Freezing tolerance of six cultivars of buffalo grass. *Crop Science*, 41, 1174-1178.
33. Rife, C. L. & Zeinali, H. (2003). Cold tolerance in oilseed rape over varying acclimation durations. *Journal of Crop Science*, 43, 96-100.
34. Sakai, A. & Larcher, W. (1987). frost survival of plants: responses and adaptation to freezing stress. *Springer-Verlag*, Berlin.
35. Samala, S., Yan, J. & Baird, W. (1998). Changes in polar lipid fatty acid composition during cold acclimation in 'Midiron'and 'U3'bermudagrass. *Crop science*, 38(1), 188-195.
36. Skinner, D. Z. & Garland-Campbell, K. A. (2008). The relationship of LT50 to prolonged freezing survival in winter wheat. *Canadian journal of plant science*, 88(5), 885-889.
37. Waalen, W. M., Tanino, K. K., Olsen, J. E., Eltun, R., Rognli, O. A., & Gusta, L. V. (2011). Freezing tolerance of winter canola cultivars is best revealed by a prolonged freeze test. *Crop science*, 51(5), 1988-1996.
38. Zand, E., Baghestani, M. A., Shimi, P., Nezamabadi, N., Mousavi, M. R. & Mousavi, K. (2013). Guide to chemical weed control of Iran's crop and horticultural products (4th ed.). Mashhad Jahad Daneshgahi Publications.
39. Zhang, X., Teixeira da Silva, J. A., Niu, M., Li, M., He, C., Zhao, J., Zeng, S., Duan, J. & Ma, G. (2017). Physiological and transcriptomic analyses reveal a response mechanism to cold stress in *Santalum album* L. leaves. *Scientific Reports*, 7, 42165.