

## اثر خشکی و سایه بر رشد چمن فستوکای پابلند (*Festuca arundinacea* L.) و علف گندمی بیابانی (*Agropyron desertorum* L.)

امیر صادقی<sup>۱</sup>، نعمت‌اله اعتمادی<sup>۲\*</sup>، علی نیکبخت<sup>۳</sup> و محمدرضا سبزیعلیان<sup>۴</sup>

۱ و ۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۱۲/۱۷)

### چکیده

اطلاعات اندکی در مورد اثرهای متقابل تنش‌های محیطی بر فیزیولوژی و رشد گیاهان چمنی در اختیار است. همچنین بررسی جداگانه یک عامل محیطی بر روی گیاه نمی‌تواند الگوی مناسبی برای شرایط طبیعی باشد. در این پژوهش اثر متقابل سطوح مختلف سایه (۰، ۵۰ و ۷۰ درصد) و سطوح خشکی (آبیاری کامل و قطع آبیاری) بر خصوصیات ظاهری بخش هوایی و ریشه‌ای علف گندمی بیابانی (*Agropyron desertorum*) و فستوکای پابلند (*Festuca arundinacea* Schreb.) 'Forager' به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد. تحت سطوح مختلف سایه (۵۰ و ۷۰ درصد) اثر منفی خشکی بر سرعت خشکیدگی، کیفیت ظاهری، نشت یونی و درصد مرگ‌ومیر ریشه‌های سطحی و عمقی نسبت به نور کامل کاسته شد. از نظر کاربرد زیتی (حفظ کیفیت ظاهری)، تحت شرایط خشکی و نور کامل، گونه فستوکای پابلند و تحت تنش خشکی و سایه سطح بالا (۷۰ درصد) گونه علف گندمی بیابانی موفق‌تر بود. تحت سایه متوسط (۵۰ درصد) و خشکی گونه فستوکای پابلند نسبت به علف گندمی بیابانی زمان بیشتری تا خشکیدگی سپری کرد. به نظر می‌رسد اثر متقابل عوامل محیطی از جمله شدت نور بر مکانیسم‌های استفاده‌شده در مواجهه با خشکی مؤثر باشند که نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد.

**واژه‌های کلیدی:** علف گندمی بیابانی، فستوکای پابلند، مرگ‌ومیر ریشه، نشت یونی ریشه.

### مقدمه

خشکی و مسئله کمبود نور و ایجاد سایه به‌واسطه توسعه مصنوعات بشری و همچنین سایه ناشی از درختان در فضای سبز، دو چالش مهم پیش روی چمن به‌منزله یکی از اجزای اصلی فضای سبز شهری است. در شرایط مزرعه اغلب گیاهان با چندین تنش مواجه‌اند (Yordanov et al., 2003). باین‌حال اطلاعات اندکی در مورد اثرهای متقابل تنش‌های محیطی بر فیزیولوژی و رشد گیاهان در اختیار است (Holmgren, 2000). بررسی جداگانه یک عامل بر

روی گیاه نمی‌تواند الگوی مناسبی برای شرایط طبیعی باشد (Holmgren, 2000). براساس بررسی‌های صورت‌گرفته اطلاعاتی درمورد اثر متقابل سایه و خشکی بر روی چمن‌ها در اختیار نیست. چندین مطالعه در مورد اثر سایه و خشکی بر رشد دانه‌ها انجام گرفته است (Aranda et al., 2005; Climent et al., 2006; Yang et al., 2007). اما نتایج متناقض بوده است. برخی از مطالعات بیان‌کننده اثر شدیدتر خشکی در شرایط سایه شدید نسبت به نور کامل بوده است (Smith & Huston, 1989; Trade-off فرضیه)

شد. در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که تحت تنش خشکی کاهش شدت نور اثرهای منفی خشکی بر رشد گیاه را کاهش می‌دهد (Yang et al., 2007). با توجه به فلور گیاهی ایران و ذخایر غنی گیاهان بومی به نظر می‌رسد استفاده از چمن‌های بومی از راهکارهای مناسب برای مواجهه با مشکل خشکی و کاشت در فضاهای سایه‌دار در فضای سبز شهری باشد. از جمله این گیاهان، علف گندمی بیابانی (*A. desertorum*) است. علف گندمی بیابانی از گیاهان مرتعی ایران با قابلیت استفاده به عنوان چمن است. عمر طولانی و ساختار ریشه‌ای گسترده از ویژگی‌های این چمن است (Daniel et al., 2001). هدف از این پژوهش، مطالعه اثر متقابل سایه و خشکی بر خصوصیات ظاهری بخش هوایی و ریشه گونه بومی علف گندمی بیابانی در مقایسه با گونه فستوکای پابلند (*Festuca arundinacea* Schreb. 'Forager') به‌منزله گونه مقاوم به سایه و خشکی است.

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر طی سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۱ در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان در فضای آزاد انجام پذیرفت. اقلیم منطقه، خشک با متوسط حداکثر و حداقل دمای سالانه ۲۳/۴ و ۹/۱ درجه سانتی‌گراد، متوسط بارندگی در طول مدت آزمایش ۱۲۲/۸ میلی‌متر و رطوبت نسبی ۳۹/۴ درصد بود. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد، تیمارها شامل سه سطح سایه (۰، ۵۰ و ۷۰) به عنوان محیط، دو گونه (علف گندمی و فستوکای پابلند) و دو سطح آبیاری (آبیاری کامل و قطع آبیاری) بود. تجزیه داده‌ها به‌صورت تجزیه مرکب برای محیط سایه و فاکتوریل برای سایر تیمارها اجرا شد. دو گونه چمن فصل سرد استفاده‌شده در این آزمایش شامل جمعیت بومی علف گندمی بیابانی (*Agropyron deserturum* L.) و گونه فستوکای پابلند (*Festuca arundinacea*) رقم 'Forager' بود. بذر جمعیت بومی علف گندمی بیابانی از بخش دامنه (با طول شرقی ۲۵° ۵۰ و عرض شمالی ۳۲° ۵۸)، شهرستان فریدن واقع در استان اصفهان جمع‌آوری

(Kubiske et al., 1996). برخلاف این فرضیه دو فرضیه دیگر (Above-ground و Primary-limitation و facilitation) اعلام می‌دارند که خشکی در سایه‌های شدید اثر ضعیف‌تری دارد (Holmgren, 2000). فرضیه اثر متقابل (Interplay) نیز بیان می‌دارد که اثر خشکی در نور کامل، نسبتاً شدید، در سایه متوسط، ضعیف‌تر و در سایه زیاد، شدید است (Holmgren et al., 1997). مدل اثرهای مستقل (Independent-effects model) تأثیرات خشکی و سایه شدید را مستقل از هم می‌داند و نشان می‌دهد که خشکی در تمامی سطوح سایه سبب کاهش سرعت رشد نسبی می‌شود (Nobel, 1999).

بیشتر مطالعات در مورد اثر تنش خشکی بر بخش‌های هوایی گیاهان بوده است. با این حال مهم‌ترین بخش برای سازگاری گیاهان به تنش خشکی را ریشه‌ها دانسته‌اند (Huang & Fry, 1998). تحت تنش خشکی کارایی جذب آب توسط گیاه یکی از پارامترهای مهم تعیین‌کننده مقاومت به خشکی است. جذب آب در گیاه وابسته به اندازه (وزن یا طول)، فعالیت و توزیع ریشه‌هاست (Huang & Gao, 2000). افزایش ریشه‌دهی در عمق بیشتر خاک و افزایش وزن خشک ریشه‌ها از مهم‌ترین روش‌های سازگاری برای بهبود کارایی جذب آب تحت تنش خشکی است (Huang et al., 1997). بقا و رشد ریشه‌ها در چمن‌های چندساله نیز از دیگر ویژگی‌های مؤثر در سازگاری این گیاهان به شرایط خشک و نیمه‌خشک است (Huang & Gao, 2000). در مورد اثر متقابل خشکی و سایه بر پاسخ ریشه‌ها در چمن‌ها مطالعاتی انجام نشده است. اثر متقابل سایه و خشکی بر دانه‌های درخت داگلاس (*Pseudotsuga menziesi*) نشان داد که تحت تنش خشکی با افزایش سطوح سایه میزان مرگ‌ومیر ریشه‌ها افزایش یافت (Marshall, 1986). اثر سایه (نور کامل و ۸۵ درصد سایه) و خشکی (آبیاری کامل و آبیاری در حد ۳۰ درصد ظرفیت زراعی) بر دانه‌های سرو (*Picea asperata*) نشان داد که در شرایط ۸۵ درصد سایه و خشکی نسبت ریشه به اندام هوایی افزایش یافت. در حالی که در نور کامل، تنش خشکی سبب کاهش این نسبت

دما در هر یک از سطوح سایه دو بار در هفته به کمک دماسنج ماکزیمم-مینیمم اندازه‌گیری شد. حداقل و حداکثر دمای ثبت‌شده در طول آزمایش به ترتیب ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. اختلاف دمای موجود بین سطوح مختلف نوری در هر بار اندازه‌گیری کمتر از ۳ درجه سانتی‌گراد ثبت شد.

پس از سازگاری چمن‌ها به محیط سایه (حدود ۴ ماه) تیمار خشکی در دو سطح (آبیاری کامل و قطع آبیاری) اعمال شد. در هر یک از سطوح نوری نیمی از گلدان‌های مربوط به هر یک از گونه‌ها تحت تنش خشکی (قطع آبیاری) قرار گرفت. تیمار قطع آبیاری در هر یک از سطوح نوری تا رسیدن به ۹۰ درصد خشکیدگی گیاهان ادامه یافت. در این مطالعه برای تعیین کیفیت ظاهری از امتیازدهی بصری توسط ارزیاب باتجربه براساس مقیاس ۱ تا ۹ استفاده شد. در ارزیابی یادشده که براساس دستورالعمل NTEP صورت گرفت امتیاز ۹ به کیفیت ظاهری سبز تیره و امتیاز ۱ به کیفیت ظاهری زرد اختصاص یافت (Man *et al.*, 2011). در نهایت کاهش کیفیت ظاهری در طول آزمایش با استفاده از بیشترین و کمترین کیفیت ظاهری برحسب درصد به دست آمد. پس از رسیدن به ۹۰ درصد خشکیدگی گلدان‌ها برای بررسی خصوصیات ریشه تخلیه و با استفاده از سطوح شیب‌دار ریشه‌های آن‌ها به دقت شست‌وشو شد. عمق نفوذ ریشه (بیشترین طول ریشه) بلافاصله با خط‌کش با دقت ۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس وزن تر ریشه‌های سطحی (عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر) و ریشه‌های عمقی (۶۰-۴۰ سانتی‌متر) بعد از برش و شست‌وشوی ریشه‌ها و گرفتن آب اضافی، توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۱ میلی‌گرم اندازه‌گیری شد. پس از اندازه‌گیری وزن تر بلافاصله نمونه‌ها در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس وزن خشک با ترازوی دیجیتالی با دقت ۱ میلی‌گرم اندازه‌گیری شد. نشت یونی ریشه در اعماق مختلف به روش Ruter (1993) اندازه‌گیری شد. مرگومیر ریشه‌ها در اعماق مختلف به کمک اندازه‌گیری فعالیت دهیدرونازی ریشه و به کمک روش Knievel (1973) معلوم شد. در این آزمایش از تکنیک احیای ماده تری‌فنیل تترازولیوم

شد. گونه فستوکای پابلند به‌واسطه تحمل بالا به سایه و خشکی در بین سایر چمن‌های فصل سرد متداول در فضای سبز (Stier & Gardner, 2008; McCann & Huang, 2008) به عنوان شاهد انتخاب شد. بذور علف گندمی بیابانی و فستوکای پابلند به ترتیب با وزن هزاردانه ۳/۰۴ و ۳/۳۰ گرم در گلدان‌های استوانه‌ای به ارتفاع ۶۰ و قطر ۱۵ سانتی‌متر که با خاک لومی رسی (سری اصفهان، pH=۶/۵، EC=۷/۴) پر شده بودند، با تراکم ۳۰ گرم بر مترمربع در اوایل آبان‌ماه کشت شد. در طول مدت جوانه‌زنی و استقرار، مبارزه با علف‌های هرز و کوددهی با کود اوره (۰-۰-۳۴) در صورت نیاز به میزان ۵ گرم در مترمربع انجام شد. چمن‌ها به‌صورت هفتگی و در ارتفاع ۴ سانتی‌متر سرزنی شد. آبیاری به‌طور منظم و به‌گونه‌ای که در هر بار آبیاری آب از ته گلدان به‌راحتی خارج شود انجام پذیرفت. پس از استقرار چمن‌ها که حدود ۵ ماه به طول انجامید، چمن‌های یادشده به زیر سایبان‌ها برای اعمال تیمارهای مختلف نوری منتقل شد. سطوح ۵۰ و ۷۰ درصد سایه به ترتیب با یک لایه تور پارچه‌ای و یک لایه تور سبز (ساران) به دست آمد. برای ایجاد سایبان از تونل clear span round frame به ابعاد طول ۳ متر، عرض ۲/۷ متر و حداکثر ارتفاع ۲ متر استفاده شد. برای جلوگیری از نفوذ نور، اضلاع جانبی سایبان به کمک تورهای استفاده‌شده پوشانده شد. شدت نور هر هفته به‌صورت تصادفی در روز آفتابی در ساعت ۱۲ ظهر به کمک نورسنج مدل (ST-1309) در همه سطوح نوری اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱. متوسط نور در سطوح مختلف سایه در بررسی اثر متقابل سایه و خشکی در چمن گندمی بیابانی و گونه فستوکای پابلند

سطوح سایه (درصد)	شدت نور (میکرومول بر مترمربع بر ثانیه)	درصد سایه
۰	۱۴۷۴	---
۵۰	۷۷۳/۶۶	۴۷/۵
۷۰	۳۹۹/۰۶	۷۲/۹
۹۰	۶۳/۶۲	۹۵/۶

زمان تا ۹۰ درصد خشکیدگی و مرگومیر ریشه تنها در مورد گیاهان خشکی دیده اندازه گیری شد. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به هر صفت و تجزیه رگرسیون به کمک نرم‌افزار سیستم پردازش آماری SAS (نسخه ۹/۱) و به صورت تجزیه مرکب داده‌ها برای محیط صورت گرفت. میانگین اثرهای متقابل در صورت معنادار بودن از طریق آزمون حداقل تفاوت معنادار، در سطح احتمال ۵ درصد توسط نرم‌افزار MSTATC مقایسه شدند.

### نتایج و بحث

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول‌های ۲، ۳ و ۴) نشان می‌دهد اثر سه‌گانه سایه، گونه و خشکی بر کاهش کیفیت ظاهری، نشت یونی و وزن تر و خشک ریشه در اعماق مختلف معنادار بود. درحالی‌که عمق نفوذ ریشه به‌طور معناداری با این عوامل سه‌گانه متأثر نشد، اما اثرهای متقابل دوگانه سایه و خشکی، و گونه و خشکی بر عمق نفوذ ریشه معنادار بود. همچنین اثر متقابل سایه و خشکی بر زمان خشکیدگی و مرگومیر ریشه‌ها در اعماق مختلف در گیاهان خشکی دیده معنادار شد. همچنین اثر متقابل سایه و خشکی بر زمان خشکیدگی و مرگومیر ریشه‌ها در اعماق مختلف در گیاهان خشکی دیده معنادار شد.

کلراید (2,3,5-triphenyltetrazolium chloride) (TTC)) استفاده شد. ریشه‌های زنده به سرعت ماده TTC را احیا کرده و ماده قرمز رنگ غیرقابل حل فرمازان (Formazan) را تولید می‌کنند. بافت‌های مرده فاقد این توانایی‌اند. در پایان آزمایش بعد از شست‌وشوی ریشه از اعماق مختلف نمونه‌هایی با وزن‌های مختلف بین ۰/۱ تا ۰/۷ گرم برداشته شد و به لوله‌های حاوی ۰/۶ درصد TTC و ۰/۰۶ مولار بافر فسفات (PH=۷، Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>+KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) و ۰/۰۵ درصد Tween 20 اضافه شد. لوله‌ها به مدت ۲۰ ساعت در انکوباتور با دمای حدود ۳۷ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس نمونه‌های ریشه دو بار با آب دیونیزه شست‌وشو شد. فرمازان حاصل از احیای TTC طی دو مرحله و هر بار به کمک ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد و حمام آب گرم با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد استخراج شد. پس از مخلوط عصاره‌های حاصل از این دو مرحله حجم عصاره‌ها به کمک اتانول ۸۰ درصد به ۲۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. در نهایت میزان جذب با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (مدل UV-160A) و در طول موج ۴۹۰ نانومتر اندازه‌گیری شد. بعد از تشکیل منحنی استاندارد طبق روش Knievel (1973) مرگومیر ریشه‌ها براساس درصد وزن خشک ریشه‌های مرده به وزن خشک کل ریشه بیان شد.

جدول ۲. تجزیه واریانس مربوط به تأثیر سایه، گونه و تنش بر وزن تر و خشک ریشه در اعماق مختلف

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
وزن خشک ریشه		وزن تر ریشه			
۴۰-۶۰	۰-۲۰	۴۰-۶۰	۰-۲۰		
سانتی‌متر	سانتی‌متر	سانتی‌متر	سانتی‌متر		
۰/۱۷۳۶**	۴۰/۶۹**	۰/۶۹۱**	۴۴۳/۳۰**	۲	سایه
۰/۰۰۰۳ <sup>ns</sup>	۰/۲۴ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۸۷*	۶	تکرار در سایه
۰/۰۲۱۰**	۲۷/۸۹**	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۳۲/۸۹**	۱	گونه
۰/۰۲۴۰**	۴/۵۵**	۰/۵۸۵**	۱۹۷/۱۶**	۱	تنش
۰/۰۱۸۲**	۶/۱۳**	۰/۰۵۷**	۱۴/۵۱**	۲	سایه × گونه
۰/۰۳۱۰**	۰/۹۱**	۰/۰۶۵**	۷۶/۹۹**	۲	سایه × تنش
۰/۰۰۰۸*	۱/۴۲**	۰/۰۰۳ <sup>ns</sup>	۱۶/۵۷**	۱	گونه × تنش
۰/۰۰۱۱**	۱/۳۱**	۰/۰۳۵**	۲۰/۲۰**	۲	سایه × گونه × تنش
۰/۰۰۰۱	۰/۱۴	۰/۰۰۱	۰/۲۵	۱۸	خطا
۱۲/۷۶	۸/۳۸	۱۵/۵۶	۶/۰۹		ضریب تغییرات

<sup>ns</sup>: عدم اختلاف معنادار، \*: اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ درصد، \*\*: اختلاف معنادار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۳. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به تأثیر سایه، گونه و تنش بر کاهش کیفیت ظاهری، عمق نفوذ ریشه و نشت یونی ریشه در اعماق مختلف

میانگین مربعات		عمق نفوذ ریشه	کاهش کیفیت ظاهری	درجه آزادی	منابع تغییرات
نشت یونی ریشه ۰-۲۰ سانتی‌متر	۴۰-۶۰ سانتی‌متر				
۴۸/۷۳ <sup>ns</sup>	۲۱۹/۱۸*	۴۶۹/۳۰*	۱۹۵/۶**	۲	سایه
۳۰/۶۶ <sup>ns</sup>	۳۷/۵۹ <sup>ns</sup>	۴۴/۳۱ <sup>ns</sup>	۲/۲ <sup>ns</sup>	۶	تکرار در سایه
۱۵۶/۲۲*	۳۵۴/۷۵*	۳۱۰/۶۴**	۲۲/۳*	۱	گونه
۲۹۵۲/۷۴**	۹۷۸۲/۸۵**	۲۵۸۱/۴۸**	۳۱۰۷۶/۴**	۱	تنش
۴۵/۲۶ <sup>ns</sup>	۱۵۸/۰۸ <sup>ns</sup>	۴۲/۳۹ <sup>ns</sup>	۹/۹ <sup>ns</sup>	۲	سایه × گونه
۲۹۵/۷۶**	۱۴۸/۸۱ <sup>ns</sup>	۲۴۵/۲۷**	۲۱۲/۵**	۲	سایه × تنش
۶/۱۹ <sup>ns</sup>	۸۴۰/۷۱**	۱۶۳/۶۲*	۸۱/۸**	۱	گونه × تنش
۱۶۲/۱۸**	۲۷۶/۷۳*	۴۰/۰۱ <sup>ns</sup>	۱۲۶/۹**	۲	سایه × گونه × تنش
۲۶/۱۴	۶۲/۹۶	۳۲/۵۹	۳/۸	۱۸	خطا
۱۳/۰۱	۱۹/۲۸	۹/۹۱	۵/۰		ضریب تغییرات

ns: عدم اختلاف معنادار، \*: اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ درصد، \*\*: اختلاف معنادار در سطح احتمال ۱ درصد.

جدول ۴. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به تأثیر سایه، گونه و تنش بر زمان تا ۹۰ درصد خشکیدگی و درصد مرگ‌ومیر ریشه در اعماق مختلف

میانگین مربعات		زمان تا ۹۰ درصد خشکیدگی	درجه آزادی	منابع تغییرات
درصد مرگ‌ومیر ۰-۲۰ سانتی‌متر	۴۰-۶۰ سانتی‌متر			
۸۶/۳ <sup>ns</sup>	۱۵۳۹/۲**	۱۲۰۲/۸**	۲	سایه
۳۲/۳*	۲۳/۹ <sup>ns</sup>	۰/۳ <sup>ns</sup>	۶	تکرار در سایه
۱۵۰/۲**	۱۰۹۴/۹**	۲۲/۲**	۱	گونه
۹۶/۱**	۸۰۲/۳**	۴۸/۲**	۲	سایه × گونه
۵/۳	۳۸/۱	۰/۳	۶	خطا
۴/۱	۱۶/۵	۱/۸		ضریب تغییرات

ns: عدم اختلاف معنادار، \*: اختلاف معنادار در سطح احتمال ۵ درصد، \*\*: اختلاف معنادار در سطح احتمال ۱ درصد.

درصد) بود. تحت تنش خشکی تفاوت معناداری بین دو گونه در سطح سایه ۵۰ درصد مشاهده نشد. با افزایش سطوح سایه در شرایط خشکی زمان تا رسیدن به ۹۰ درصد خشکیدگی افزایش یافت. تحت شرایط نور کامل فستوکای پابلند (۱۸ روز) سریع‌تر از علف گندمی بیابانی (۲۰ روز) به ۹۰ درصد خشکیدگی رسید. اما در سایه متوسط ۵۰ درصد فستوکای پابلند (۴۱ روز) زمان بیشتری را نسبت به علف گندمی بیابانی (۳۲ روز) تا رسیدن به ۹۰ درصد خشکیدگی سپری کرد. در سایه ۷۰ درصد (سایه بالا) تفاوت معناداری بین دو گونه دیده نشد (شکل ۱). در آزمایشی نتایج حاصل از بررسی مقاومت به

کاهش کیفیت ظاهری و زمان تا ۹۰ درصد خشکیدگی خشکی در کلیه سطوح نوری سبب کاهش کیفیت ظاهری شد (جدول ۵). سایه در تقابل با تنش خشکی موجب تعدیل اثر کاهشی تنش خشکی بر کیفیت ظاهری شد. به طوری که در هر دو گونه بیشترین کاهش کیفیت ظاهری بر اثر خشکی در نور کامل و کمترین کاهش کیفیت ظاهری در سایه ۷۰ درصد مشاهده شد. در گونه فستوکای پابلند تفاوت معناداری بین سایه ۵۰ و ۷۰ درصد نبود. کمترین کاهش کیفیت ظاهری بر اثر خشکی در نور کامل آفتاب و سایه ۷۰ درصد به ترتیب متعلق به گونه فستوکای پابلند (۷۶/۰۴ درصد) و علف گندمی بیابانی (۵۹/۳۵

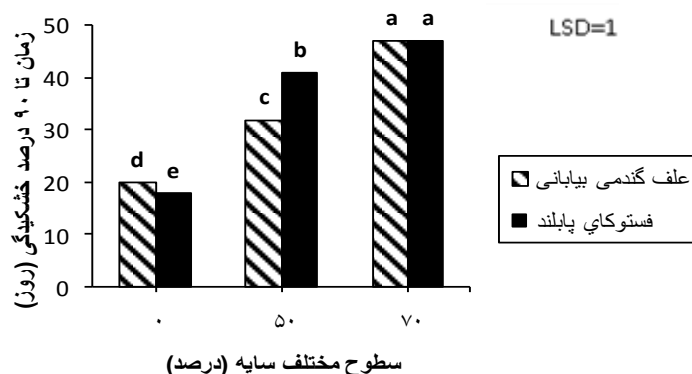
نشان‌دهنده تأثیر سایه بر تعدیل اثر خشکی در تخریب کلروفیل‌ها بوده و مطابق با فرضیه Primary-limitation و Above-ground facilitation است. فرضیه Primary-limitation بیان می‌دارد که در سایه شدید به دلیل کم‌تر بودن محدودیت آب در خاک، اثر خشکی کاهش می‌یابد. فرضیه Above-ground facilitation نیز کاهش اثر خشکی در شرایط سایه را مربوط به کاهش دمای برگ و هوا، کاهش بخار روی برگ و کاهش تبخیر و تعرق و همچنین کاهش تنش‌های اکسیداتیو بر اثر سایه می‌داند (Yang *et al.*, 2007).

خشکی گونه علف گندمی بیابانی تحت تنش خشکی و نور کامل نشان داد که خشکیدگی کامل و کاهش کیفیت ظاهری این گونه بعد از سایر گونه‌ها از جمله لولیوم بود (Tatari *et al.*, 2013). تنش خشکی سبب فعالیت بیشتر آنزیم کلروفیلاز و همچنین افزایش سنتز برخی از مواد تنظیم‌کننده رشد مانند اسید آبسزیک و اتیلن می‌شود که به تخریب و کاهش میزان کلروفیل در برگ‌ها منجر شده، شدت رنگ کاهش یافته و به دنبال آن تثبیت کربن فتوسنتزی نیز کاهش پیدا می‌کند (McCann & Huang, 2008). کاهش اثر خشکی با افزایش سطوح سایه

جدول ۵. برهمکنش سایه، گونه و خشکی بر کاهش کیفیت ظاهری

سایه (درصد)	گونه	خشکی	کاهش کیفیت ظاهری (درصد)
۰	آگروپایرون	شاهد	۷/۷۶ <sup>g</sup>
۰	آگروپایرون	تنش	۷۹/۶۳ <sup>a</sup>
۰	فستوکا	شاهد	۱۱/۶۲ <sup>f</sup>
۰	فستوکا	تنش	۷۶/۰۴ <sup>b</sup>
۵۰	آگروپایرون	شاهد	۱۱/۶۶ <sup>f</sup>
۵۰	آگروپایرون	تنش	۶۴/۴۳ <sup>c</sup>
۵۰	فستوکا	شاهد	۶/۷۷ <sup>gh</sup>
۵۰	فستوکا	تنش	۶۶/۵۷ <sup>c</sup>
۷۰	آگروپایرون	شاهد	۱۶/۷۴ <sup>e</sup>
۷۰	آگروپایرون	تنش	۵۹/۳۵ <sup>d</sup>
۷۰	فستوکا	شاهد	۴/۰۰ <sup>h</sup>
۷۰	فستوکا	تنش	۶۵/۱۲ <sup>c</sup>
LSD			۲/۳۵

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک هستند تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد آزمون LSD ندارند، (آگروپایرون = علف گندمی بیابانی و فستوکا = فستوکای پابلند).



شکل ۱. برهمکنش سایه و گونه بر زمان تا رسیدن به ۹۰ درصد خشکیدگی در گیاهان خشکی‌دیده علف گندمی بیابانی و فستوکای پابلند

در هر دو گونه تنش خشکی تنها در نور کامل آفتاب توانست وزن خشک ریشه‌های عمقی را نسبت به گیاهان شاهد به صورت معناداری کاهش دهد، در سایر سطوح نوری، خشکی اثر معناداری بر وزن خشک ریشه‌های عمقی نداشت. تحت تیمارهای آبیاری کامل و قطع آبیاری، در کلیه سطوح نوری گونه علف گندمی بیابانی نسبت به گونه فستوکای پابلند به صورت معناداری وزن خشک ریشه‌های سطحی بیشتری را داشت. همچنین تنها در نور کامل آفتاب گونه فستوکای پابلند در تیمارهای آبیاری وزن خشک ریشه‌های عمقی بیشتری را نسبت به گونه علف گندمی بیابانی نشان داد. در سایر سطوح نوری (۵۰ و ۷۰ درصد سایه) تفاوت معناداری در وزن خشک ریشه در لایه‌های عمقی بین دو گونه مشاهده نشد. در آزمایشی فعالیت‌های فیزیولوژیک ریشه شش رقم گونه فستوکای پابلند تحت تنش رطوبتی (آبیاری کامل و قطع آبیاری) بررسی شد. نتایج در مورد وزن خشک ریشه در اعماق مختلف نشان داد که در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متر در تمامی ارقام وزن خشک ریشه کاهش یافت، اما در عمق ۶۰-۴۰ سانتی‌متر در برخی ارقام افزایش یا کاهش وزن و در برخی اثر معناداری مشاهده نشد (Huang & Gao, 2000).

### وزن تر و خشک ریشه

در گونه علف گندمی بیابانی تحت تنش خشکی، با افزایش سطوح سایه به ۵۰ و ۷۰ درصد، وزن تر ریشه‌های سطحی به ترتیب ۵۸/۴ و ۸۰/۲ درصد و وزن تر ریشه‌های عمقی به ترتیب ۳۹/۶۸ و ۷۷/۷ درصد نسبت به گیاهان خشکی دیده در نور کامل، کاهش نشان داد (جدول ۶). اما در گیاهان خشکی دیده گونه فستوکای پابلند، با افزایش سطوح سایه به ۵۰ و ۷۰ درصد وزن تر ریشه‌های سطحی به ترتیب ۶۳/۶ و ۸۲/۲ درصد و وزن تر ریشه‌های عمقی به ترتیب ۷۸/۵ و ۸۶/۹ درصد نسبت به گیاهان خشکی دیده در نور کامل کاهش نشان داد. در مجموع تحت تنش خشکی با افزایش سطوح سایه، گونه فستوکای پابلند نسبت به علف گندمی بیابانی کاهش بیشتری را در وزن تر ریشه‌های سطحی و عمقی نشان داد. همچنین نتایج حاصل از (جدول ۶) نشان داد که در نور کامل آفتاب، در گونه علف گندمی بیابانی، تنش خشکی وزن خشک ریشه‌های سطحی را کاهش و در سایر سطوح نوری (۵۰ و ۷۰ درصد سایه) به صورت معناداری افزایش داد. در حالی که خشکی در کلیه سطوح نوری وزن خشک ریشه‌های سطحی در گونه فستوکای پابلند را به صورت معناداری افزایش داد.

جدول ۶. اثر متقابل سایه، گونه و خشکی بر وزن تر و خشک ریشه در اعماق مختلف

وزن خشک ریشه در اعماق مختلف (گرم در گلدان)		وزن تر ریشه در اعماق مختلف (گرم در گلدان)		خشکی	گونه	سایه
۰-۶۰ سانتی‌متر	۰-۲۰ سانتی‌متر	۰-۶۰ سانتی‌متر	۰-۲۰ سانتی‌متر			
۰/۲۷ <sup>b</sup>	۸/۴۶ <sup>a</sup>	۰/۲۸ <sup>d</sup>	۱۴/۱۷ <sup>b</sup>	شاهد	آگروپایرون	۰
۰/۰۷ <sup>d</sup>	۷/۴۱ <sup>b</sup>	۰/۶۳ <sup>b</sup>	۲۰/۳۴ <sup>a</sup>	تنش	آگروپایرون	۰
۰/۳۶ <sup>a</sup>	۳/۹۱ <sup>ef</sup>	۰/۳۶ <sup>c</sup>	۵/۳۹ <sup>e</sup>	شاهد	فستوک	۰
۰/۲۴ <sup>c</sup>	۵/۱۴ <sup>d</sup>	۰/۸۴ <sup>a</sup>	۲۰/۲۲ <sup>a</sup>	تنش	فستوکا	۰
۰/۰۳ <sup>ef</sup>	۴/۵۵ <sup>de</sup>	۰/۰۳ <sup>g</sup>	۵/۶۸ <sup>e</sup>	شاهد	آگروپایرون	۵۰
۰/۰۳ <sup>ef</sup>	۵/۸۴ <sup>c</sup>	۰/۳۸ <sup>c</sup>	۸/۴۵ <sup>c</sup>	تنش	آگروپایرون	۵۰
۰/۰۴ <sup>e</sup>	۳/۶۸ <sup>f</sup>	۰/۰۴ <sup>g</sup>	۵/۵۱ <sup>e</sup>	شاهد	فستوکا	۵۰
۰/۰۴ <sup>e</sup>	۴/۷۰ <sup>d</sup>	۰/۱۸ <sup>e</sup>	۷/۳۵ <sup>d</sup>	تنش	فستوکا	۵۰
۰/۰۲ <sup>f</sup>	۲/۶۴ <sup>g</sup>	۰/۰۲ <sup>g</sup>	۲/۹۹ <sup>gh</sup>	شاهد	آگروپایرون	۷۰
۰/۰۳ <sup>ef</sup>	۳/۳۵ <sup>f</sup>	۰/۱۴ <sup>ef</sup>	۴/۰۲ <sup>f</sup>	تنش	آگروپایرون	۷۰
۰/۰۲ <sup>f</sup>	۱/۵۸ <sup>h</sup>	۰/۰۲ <sup>g</sup>	۲/۱۴ <sup>h</sup>	شاهد	فستوکا	۷۰
۰/۰۳ <sup>ef</sup>	۲/۶۷ <sup>g</sup>	۰/۱۱ <sup>f</sup>	۳/۵۹ <sup>fg</sup>	تنش	فستوکا	۷۰
۰/۰۱	۰/۶۴	۰/۰۵	۰/۸۵			LSD

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک باشند تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد آزمون LSD ندارند، (آگروپایرون = علف گندمی بیابانی و فستوکا = فستوکای پابلند).

افزایش وزن ریشه در گیاهان چمنی تحت تنش خشکی یکی از روش‌های مهم سازگاری به خشکی برای بهبود کارایی جذب آب شناخته شده است (Sheffer *et al.*, 1987). اختصاص کربن بیشتر به ریشه‌ها نسبت به اندام هوایی تحت تنش خشکی از ویژگی‌های چمن‌های مقاوم به خشکی ذکر شده است (Fu & Huang, 2001). افزایش وزن ریشه در گونه فستوکای پابلند به‌منزله سازگاری برای اجتناب از خشکی معرفی شده است (Selahvarzi *et al.*, 2008). این در حالی است که در چمن‌های حساس به خشکی با تولید مواد تنظیم‌کننده اسمزی با کربن بالا بخش کمتری از کربن تولیدی گیاه به ریشه‌ها اختصاص می‌یابد (Taiz & Zeiger, 1998). همچنین زمانی که عامل محدودکننده رشد، کمبود شدت نور باشد چون شاخه‌ها منبع قوی‌تری برای فتوسنتز هستند، مواد فتوسنتزی بیشتری به سمت شاخه‌ها رفته و وزن ریشه برای گیاهان  $C_3$  و  $C_4$  کاهش می‌یابد (Stier & Gardner, 2008). در این پژوهش کاهش وزن تر و خشک ریشه‌های سطحی و عمقی در گیاهان خشکی دیده همراه با افزایش سایه را می‌توان به تشدید محدودیت‌های فتوسنتزی ناشی از کاهش شدت نور بر ریشه‌ها دانست.

**نشت یونی ریشه در لایه‌های سطحی و عمقی**  
در هر دو گونه، در کلیه سطوح نوری، تنش خشکی سبب افزایش نشت یونی ریشه در لایه‌های سطحی و عمقی شد. در گونه فستوکای پابلند، در کلیه سطوح نوری، میزان نشت یونی ریشه بر اثر خشکی در ریشه‌های سطحی بیشتر از ریشه‌های عمقی بود. همچنین در گونه علف گندمی بیابانی نیز در نور کامل آفتاب و سایه ۷۰ درصد نشت یونی ریشه‌های سطحی بر اثر خشکی بیشتر از ریشه‌های عمقی بود. افزایش سطوح سایه همراه با خشکی در گونه علف گندمی بیابانی سبب کاهش نشت یونی ریشه‌های سطحی شد، اما در گونه فستوکای پابلند سایه اثر معناداری بر نشت یونی ریشه‌ها نداشت. همچنین افزایش سطوح سایه همراه با خشکی در هر دو گونه سبب کاهش نشت یونی ریشه‌های عمقی شد. در نور کامل آفتاب تفاوت معناداری در نشت یونی ریشه‌های سطحی بین دو گونه مشاهده نشد. اما در سایر سطوح نوری گونه فستوکای پابلند نشت یونی بیشتری را در ریشه‌های سطحی نشان داد. در نور کامل و سایه ۷۰ درصد گونه علف گندمی بیابانی به‌صورت معناداری نشت یونی ریشه کمتری را در لایه‌های عمقی نسبت به گونه فستوکای پابلند نشان داد. در سایه ۵۰ درصد تفاوت معناداری بین دو گونه مشاهده نشد (جدول ۸).

تأثیر خشکی بر خصوصیات ریشه در ارقام مختلف فستوکای پابلند تحت نور کامل نشان داد که میزان نشت یونی در ریشه‌های سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متر)

عمق نفوذ ریشه (بیشترین طول ریشه)  
نتایج حاصل از (جدول ۷) نشان داد که سایه بر عمق نفوذ ریشه گیاهان با آبیاری کامل تأثیر منفی و بر عمق نفوذ گیاهان با تنش خشکی بی‌تأثیر بوده است. تنش خشکی در نور کامل و سایه ۵۰ درصد عمق نفوذ ریشه را نسبت به گیاهان شاهد به‌ترتیب ۳۲ و ۲۹ درصد کاهش داد. اما در سایه سطح بالا (۷۰ درصد)، خشکی بر عمق نفوذ اثر معناداری نداشت، همچنین تنش خشکی در هر دو گونه سبب کاهش عمق نفوذ ریشه شد. این کاهش در گونه تال فسکیو حدود ۳۰ درصد و در آگروپایرون ۲۱ درصد گزارش شد. نشان داده شده است که با افزایش تنش خشکی از سرعت رشد ریشه‌ها کاسته می‌شود ولی نسبت رشد ریشه به اندام هوایی افزایش می‌یابد (McCann & Huang,



در نهایت کاهش انسجام غشا و افزایش درصد نشت یونی هستند (Halliwell, 1999). در حال حاضر اطلاعات کافی در مورد اثر سایه و اثر متقابل سایه و خشکی بر نشت یونی ریشه‌ها در دسترس نیست. به نظر می‌رسد سایه با کاهش تنش اکسیداتیو (Holmgren, 2000) از تخریب دیواره سلولی بر اثر خشکی و به دنبال آن افزایش نشت یونی و نفوذپذیری غشای سلول کاسته است.

بیشتر از نشت یونی در ریشه‌های عمقی (۶۰-۴۰ سانتی‌متر) بود (Huang & Gao, 2000)، که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. نشت یونی حساس‌ترین شاخص به تنش خشکی شناخته شده است (Abraham *et al.*, 2004). تنش‌های اسمزی با ایجاد تنش اکسیداتیو و تولید گونه‌های فعال اکسیژن قادر به برهم زدن متابولیسم‌های معمول سلول بر اثر خسارت به لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه و

جدول ۷. اثر متقابل سایه و خشکی و اثر متقابل گونه و خشکی بر عمق نفوذ ریشه

عمق نفوذ ریشه (سانتی‌متر)	خشکی	گونه
۶۱/۰ <sup>b</sup>	شاهد	آگروپایرون
۴۸/۳۳ <sup>c</sup>	تنش	آگروپایرون
۷۱/۱۴ <sup>a</sup>	شاهد	فستوکا
۴۹/۹۴ <sup>c</sup>	تنش	فستوکا
		LSD
		سایه
۷۶/۱۳ <sup>a</sup>	شاهد	۰
۵۱/۷۵ <sup>cd</sup>	تنش	۰
۶۷/۲۱ <sup>b</sup>	شاهد	۵۰
۴۷/۶۶ <sup>d</sup>	تنش	۵۰
۵۴/۸۷ <sup>c</sup>	شاهد	۷۰
۴۸/۰۰ <sup>cd</sup>	تنش	۷۰
		LSD

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک باشند تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد آزمون LSD ندارند، (آگروپایرون = علف گندمی بیابانی و فستوکا = فستوکای پابلند).

جدول ۸. اثر متقابل سایه، گونه و خشکی بر نشت یونی ریشه در اعماق مختلف

نشت یونی ریشه (درصد)		خشکی	گونه	سایه
۴۰-۶۰ سانتی‌متر	۰-۲۰ سانتی‌متر			
۲۹/۳۱ <sup>fg</sup>	۲۵/۷۵ <sup>c</sup>	شاهد	آگروپایرون	۰
۵۰/۴۳ <sup>b</sup>	۶۸/۲۰ <sup>a</sup>	تنش	آگروپایرون	۰
۲۳/۴۳ <sup>g</sup>	۲۵/۰۷ <sup>c</sup>	شاهد	فستوکا	۰
۶۱/۱۰ <sup>a</sup>	۶۴/۷ <sup>a</sup>	تنش	فستوکا	۰
۲۶/۰۲ <sup>fg</sup>	۲۵/۱۴ <sup>c</sup>	شاهد	آگروپایرون	۵۰
۴۶/۶۸ <sup>bc</sup>	۴۰/۲۴ <sup>b</sup>	تنش	آگروپایرون	۵۰
۳۳/۹۳ <sup>def</sup>	۲۰/۴۹ <sup>c</sup>	شاهد	فستوکا	۵۰
۴۱/۷۴ <sup>bcd</sup>	۶۴/۹۹ <sup>a</sup>	تنش	فستوکا	۵۰
۳۰/۳۳ <sup>efg</sup>	۲۸/۱۵ <sup>bc</sup>	شاهد	آگروپایرون	۷۰
۴۰/۳۹ <sup>cd</sup>	۴۰/۵۱ <sup>b</sup>	تنش	آگروپایرون	۷۰
۳۸/۳۱ <sup>cde</sup>	۲۳/۳۲ <sup>c</sup>	شاهد	فستوکا	۷۰
۴۹/۶۵ <sup>b</sup>	۶۷/۰۹ <sup>a</sup>	تنش	فستوکا	۷۰
				LSD
۸/۷۷	۱۳/۶۱			

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک باشند تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد آزمون LSD ندارند. (آگروپایرون = علف گندمی بیابانی و فستوکا = فستوکای پابلند).

کاهش داد، اما سایه ۷۰ درصد تفاوت معناداری با نور کامل آفتاب نداشت. سایه اثر معناداری بر مرگومیر ریشه‌های عمقی گیاهان خشکی‌دیده علف گندمی بیابانی نداشت، اما با افزایش سطوح سایه درصد مرگومیر ریشه‌های عمقی در گونه فستوکای پابلند افزایش یافت (جدول ۹).

**درصد مرگومیر ریشه در اعماق مختلف**  
تحت تنش خشکی، در گونه علف گندمی بیابانی با افزایش سطوح سایه از درصد مرگومیر ریشه‌های سطحی کاسته شد، اما بین سطوح سایه ۵۰ و ۷۰ درصد تفاوت معناداری دیده نشد. در گونه فستوکای پابلند سایه ۵۰ درصد مرگومیر ریشه‌های سطحی را

جدول ۹. برهمکنش سایه و گونه بر درصد مرگومیر ریشه در اعماق مختلف

مرگومیر ریشه (درصد)		گونه	سایه (درصد)
۴۰-۶۰ سانتی‌متر	۰-۲۰ سانتی‌متر		
۵۲/۵۴ <sup>b</sup>	۵۴/۹۵ <sup>a</sup>	آگروپایرون	۰
۴۹/۴۱ <sup>b</sup>	۵۰/۴۲ <sup>a</sup>	فستوکا	۰
۵۰/۷۰ <sup>b</sup>	۱۵/۵۱ <sup>b</sup>	آگروپایرون	۵۰
۶۳/۰۶ <sup>a</sup>	۲۵/۹۷ <sup>b</sup>	فستوکا	۵۰
۵۴/۰۰ <sup>b</sup>	۱۸/۴۰ <sup>b</sup>	آگروپایرون	۷۰
۶۲/۱۱ <sup>a</sup>	۵۹/۲۷ <sup>a</sup>	فستوکا	۷۰
۴/۶۰	۱۲/۳۴		LSD

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل در یک حرف مشترک باشند تفاوت معناداری در سطح ۵ درصد آزمون LSD ندارند (آگروپایرون= علف گندمی بیابانی و فستوکا= فستوکای پابلند بلند).

لایه‌های سطحی این افزایش بیشتر بود (Huang & Gao, 2000). در پژوهشی اثر سایه (نور کامل و ۹۵ درصد) و تنش رطوبتی (آبیاری و قطع آبیاری) بر میزان مرگومیر ریشه در دانه‌های درخت داگلاس (*Pseudotsuga menziesii*) نشان داد بیشترین میزان مرگومیر ریشه و کمترین میزان کربوهیدرات در تیمار سایه شدید و خشکی بوده است (Marshall, 1986). خشکی به صورت غیرمستقیم از طریق افزایش دمای ریشه، افزایش تنفس ریشه و محدود کردن انتقال مواد فتوسنتزی سبب افزایش میزان مرگومیر ریشه می‌شود (Marshall, 1986). کاهش کربوهیدرات در گیاه سبب محدود شدن فرایند چوب‌پنبه‌ای شدن (suberization) در ریشه گیاه می‌شود. معلوم شده است که با ایجاد لایه چوب‌پنبه‌ای در ریشه درصد تلفات آب در گیاه کاهش خواهد یافت. از آنجا که با کاهش کربوهیدرات‌ها در گیاه میزان تولید چوب‌پنبه در ریشه کاهش می‌یابد، گمان می‌رود که سایه به واسطه کاهش کربوهیدرات تولیدی می‌تواند سبب کاهش چوب‌پنبه‌سازی و به دنبال آن افزایش درصد مرگومیر ریشه شود (Marshall, 1986).

در نور کامل و سایه ۵۰ درصد تفاوت معناداری در میزان مرگومیر ریشه‌های سطحی بین دو گونه مشاهده نشد، اما در سایه ۷۰ درصد گونه علف گندمی بیابانی به مراتب درصد مرگومیر ریشه کمتری را نشان داد. همچنین در نور کامل تفاوت معناداری بین دو گونه در میزان مرگومیر ریشه‌های عمقی نبود. در سایر سطوح نوری گونه علف گندمی بیابانی مرگومیر کمتری را در ریشه‌های عمقی نشان داد. با توجه به نتایج ریشه‌های سطحی و عمقی در گونه فستوکای پابلند درصد مرگومیر بیشتری را نسبت به ریشه‌های گونه علف گندمی بیابانی تحت تأثیر سایه و خشکی نشان دادند. تنش خشکی از دلایل اصلی مرگومیر ریشه‌ها به ویژه در لایه‌های سطحی خاک به خصوص در مورد گیاهانی مثل چمن‌ها که بخش عمده ریشه‌های آن‌ها در لایه سطحی قرار دارند است (Huang et al., 1997). با بررسی میزان مرگومیر ریشه گونه فستوکای پابلند در اعماق مختلف در نور کامل و تحت تنش رطوبتی (آبیاری کامل و قطع آبیاری) نشان داده شد که تنش خشکی مرگومیر ریشه‌ها را در اعماق ۰-۲۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متر افزایش داد، ولی در

خاک، کاهش دمای هوا و برگ و کاهش تنش‌های اکسیداتیو در محیط سایه را از دلایل کاهش اثر خشکی در محیط سایه دانست. در مجموع در شرایط سایه و خشکی گونهٔ علف گندمی بیابانی از نظر ویژگی‌های مربوط به ریشه موفق‌تر از فستوکای پابلند عمل کرده است. از نظر حفظ کیفیت ظاهری که مهم‌ترین شاخص چمن‌ها در کاربرد زینتی آن‌هاست، در شرایط خشکی و نور کامل، گونهٔ فستوکای پابلند و تحت تنش خشکی و سایه سطح بالا (۷۰ درصد) گونهٔ علف گندمی بیابانی موفق‌تر عمل کرده است. به نظر می‌رسد اثر متقابل عوامل محیطی از جمله شدت نور در مکانیسم‌های استفاده‌شده در مواجهه با خشکی مؤثر باشند که نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد.

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به کاهش وزن خشک ریشه‌ها در گیاهان خشکی‌دیده همراه با افزایش سطوح سایه، به نظر می‌رسد سایه وقوع مکانیسم اجتناب از خشکی را به تأخیر انداخته است. با این حال با توجه به کم‌تر بودن کاهش کیفیت ظاهری در اثر خشکی و همچنین افزایش زمان رسیدن به ۹۰ درصد خشکیدگی در محیط سایه به نظر نمی‌رسد که تأخیر در وقوع مکانیسم اجتناب از خشکی به کاهش تحمل به خشکی منجر شده باشد. کاهش نشت یونی و درصد مرگومیر ریشه‌های سطحی و عمقی را می‌توان از شواهد کاهش آثار منفی خشکی بر رشد و نمو ریشه‌ها در محیط سایه دانست. شاید بتوان حفظ رطوبت

### REFERENCES

1. Abraham, E. M., Huang, B., Bonos, S. A. & Meyer, W. A. (2004). Evaluation of drought resistance for Texas bluegrass, Kentucky bluegrass, and their hybrids. *Crop Science*, 44, 1746-1753.
2. Aranda, I., Castro, L., Pardos, M., Gil, L. & Pardos, J. A. (2005). Effects of the interaction between drought and shade on water relations, gas exchange and morphological traits in cork oak (*Quercus ruber* L.) seedlings. *Forest Ecology and Management*, 210, 117-129.
3. Climent, J. M., Aranda, I., Alonso, J., Pardos, J. A. & Gil, L. (2006). Developmental constraints limit the response of Canary Island pine seedlings to combined shade and drought. *Forest Ecology and Management*, 231, 164-168.
4. Daniel, G. O., Loren, S. T. J. & Jensen, K. B. (2001). Crested Wheatgrass (*Agropyron cristatum*) and *Agropyron desertorum* accessions. *Canadian Journal of Plant Science*, 70, 707-716.
5. Fu, J. & Huang, B. (2001). Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaption of tow cool season grasses to localized drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 45, 105-114.
6. Halliwell, B. (1999). Antioxidant defence mechanism from the beginning to the end. *Free Radical Research*, 31, 261-272.
7. Holmgren, M., Scheffer, M. & Huston, M. A. (1997). The interplay of facilitation and competition in plant communities. *Ecology*, 78, 1966-1975.
8. Holmgren, M. (2000). Combined effects of shade and drought on tulip poplar seedlings: trade-intolerance or facilitation? *OIKOS*, 90, 67-78.
9. Huang, B., Duncan, R. R. & Carrow, R. N. (1997). Drought-resistance mechanisms of seven warm-season turfgrasses under surface soil drying: II. Root aspects. *Crop Science*, 37, 1863-1869.
10. Huang, B. & Fry, J. D. (1998). Root anatomical, physiological, and morphological responses to drought stress for tall fescue cultivars. *Crop Science*, 38, 1017-1022.
11. Huang, B. & Gao, H. (2000). Root physiological characteristics associated with drought resistance in tall fescue cultivars. *Crop Science*, 40, 196-203.
12. Knievel, D. P. (1973). Procedures for estimating ratio of live or dead root dry matter in root core samples. *Crop Science*, 13, 124-126.
13. Kubiske, M. E., Abrams, M. D. & Mostoller, S. A. (1996). Stomatal and nonstomatal limitations on photosynthesis in relation to the drought and shade tolerance of tree species in open and understory environments. *Trees*, 11, 76-82.
14. Man, D., Boa, Y. X., Han, B. & Zhang, X. (2011). Drought tolerance associated with proline and hormone metabolism in two tall fescue cultivars. *HortScience*, 7, 1027-1032.
15. Marshall, J. D. (1986). Drought and shade interact to cause fine-root mortality in Douglas-fir seedlings. *Plant and Soil*, 91, 51-70.
16. McCann, S. E. & Huang, B. (2008). Turfgrass Drought Physiology and Irrigation Management. pp. 431-446. In: M. Pessarakli (Ed), *Handbook of Turfgrass Management and Physiology*. (pp. 431-446.) CRC Press.

17. Nobel, P. S. (1999). *Physicochemical and environmental plant physiology* (2<sup>nd</sup>ed.). Academic Press, San Diego. 474 pp.
18. Richardson, M. D., Karcher, D. E., Hignight, K. & Rush, D. (2008). Drought tolerance and rooting capacity of Kentucky bluegrass cultivars. *Crop Science*, 48, 2429-2436.
19. Ruter, J. M. (1993). High-temperature-induced electrolyte leakage from excised leaves and roots of three hollies. *HortScience*, 28(9), 927-928.
20. Selahvarzi, Y., Tehranifar, A., Gazanchian, A. & Arooei, H. (2008). Drought resistance mechanisms of native and commercial turfgrasses under drought stress: Root responses. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 22(2), 1-12. (in Farsi)
21. Sheffer, K. M., Dunn, J. H. & Minner, D. D. (1987). Summer drought response and rooting depth of three cool-season turfgrasses. *HortScience*, 22, 296-297.
22. Smith, T. & Huston, M. (1989). A theory of the spatial and temporal dynamics of plant communities. *Vegetatio*, 83, 49-69.
23. Stier, C.J. & Gardner, D.S. (2008). Shade Stress and Management. In: M, Pessarakli (Ed), *Handbook of Turfgrass Management and Physiology*. (pp. 447-472.) CRC Press.
24. Taiz, L. & Zeiger, E. (1998). *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc, Sunderland, MA. 792 pp.
25. Tatari, M., Fotouhi Ghazvini, R., Etemadi, N., Ahadi, A. M. & Mousavi, A. (2013). Study of some physiological responses in three species of turfgrass in drought stress conditions. *Journal of Plant Production*, 20(1), 63-87. (in Farsi)
26. Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao, Y. Z., Yao, X. Q. & Yin, H. J. (2007). Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. *Photosynthetica*, 45(4), 613-619.
27. Yordanov, I., Velikova, V. & Tsonev, T. (2003). Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, Special Issue, 187-206.

## Effect of drought stress and different levels of shade on the growth and performance of wheatgrass and tall fescue

Amir Sadeghi<sup>1</sup>, Nematollah Etemadi<sup>2\*</sup>, Ali Nikbakht<sup>3</sup> and Mohammad Reza Sabzalian<sup>4</sup>

1, 2, 3. Former M. Sc. Student, Associate Professor and Assistant Professors, Department of Horticulture, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

4. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

(Received: Sep. 28, 2013 - Accepted: Mar. 8, 2014)

### ABSTRACT

A few information about the combined effects of different environmental stress on turfgrass physiology and growth is available. Also, a separate study of environmental factors on plant cannot be a suitable model for natural conditions. This study was conducted to investigate the interactive effects of different levels of shade (0, 50, and 70%) and water treatments (well-watered and non-irrigated) on visual quality and root characteristics of wheatgrass (*Agropyron deserturum* L.) and tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb. 'Forager') in a factorial arrangement based on a completely randomized design. Under different levels of shade (50 and 70%), the negative effects of drought stress on the rate of dehydration, visual quality, ion leakage and the mortality rate of surface and deep roots was reduced. According to the ornamental performance, tall fescue had better performance than the wheatgrass under drought stress conditions and full sunlight, but wheatgrass was more successful than tall fescue under drought stress and 70% shade level. Under moderate shade (50%) and drought stress, tall fescue spent more time to dehydrate than wheatgrass. It can be concluded that in water stress conditions, shading could be useful to cope with drought stress, which needs to be further investigated.

**Keywords:** electrolyte leakage of root, root mortality, tall fescue, wheatgrass.