نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۴۵۰-۴۳۸

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 2, Summer. 2017, p. 438-450

اثر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب و وزن خشک ریشه گندم (*Triticum aesativum* L.) و چاودار (*Secale cereale* L.) در شرایط رقابت

فرزانه گلستانی فر[1*]- سهراب محمودی[2]- غلامرضا زمانی[2]- محمد حسن سیاری زهان[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۰۱

چکیده

یکی از مهمترین عواملی که باعث کاهش تولید گیاهان زراعی در سراسر جهان می‌شود، کمبود آب در طی فصل رشد است، در این راستا به‌منظور بررسی اثر تنش‌خشکی و رقابت درون و برون‌گونه‌ای بر وزن‌خشک ریشه و کارایی مصرف آب گندم و چاودار، مطالعه‌ای در بهار سال ۱۳۹۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند به‌صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل چهار تراکم گندم (صفر، ۸، ۱۶، ۲۴ بوته در گلدان)، چهار تراکم چاودار (صفر، ۲، ۴، ۶ بوته در گلدان) و دو سطح تنش‌خشکی شامل آبیاری در ۲۰٪ و ۶۰٪ تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی خاک بود. براساس نتایج تجزیه واریانس، تمامی اثرات متقابل، تأثیر معنی‌داری ($P<0/01$) بر کارایی مصرف آب گندم داشتند اما تنها اثر متقابل رقابت برون‌گونه‌ای و تنش‌خشکی بر کارایی مصرف آب چاودار معنی‌دار ($P<0/01$) بود. همچنین اثر متقابل سه‌گانه نیز تأثیر معنی‌داری ($P<0/01$) بر وزن‌خشک ریشه گندم داشت. نتایج نشان داد که با افزایش تنش‌خشکی کارایی مصرف آب در گندم به میزان ۱۶/۹۸ درصد کاهش و در چاودار ۳۳/۹۵ درصد افزایش یافت. کارایی مصرف آب در گندم و چاودار تحت تأثیر رقابت درون‌گونه‌ای به‌ترتیب ۱۰/۴۳ و ۲۸/۱۶ درصد افزایش و تحت تأثیر رقابت برون‌گونه‌ای به‌ترتیب ۵۷/۳۹ و ۸۱/۰۳ درصد کاهش یافت. وزن‌خشک ریشه گندم تحت تأثیر تنش‌خشکی قرار نگرفت ولی با افزایش تراکم چاودار و تراکم گندم به‌ترتیب ۶۴/۲۹ و ۴۸/۹۵ درصد کاهش یافت همچنین وزن‌خشک ریشه چاودار تحت تأثیر تنش خشکی و رقابت برون‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای به‌ترتیب ۳۷/۱۴، ۴۷/۴۳ و ۳۳/۶۰ درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: رقابت، سری‌های افزایشی، کم‌آبی، علف‌هرز

مقدمه

خشکی هنگامی ایجاد می‌شود که مجموعه‌ای از عوامل فیزیکی و محیطی، فراهمی آب در محیط ریشه و ساختار گیاه را کاهش داده و در نتیجه میزان محصول کاهش می‌یابد. این کاهش ممکن است به‌دلیل تأخیر یا عدم استقرار بوته‌ها، ضعیف ماندن یا از بین رفتن بوته‌های استقرار یافته، مستعد شدن گیاه نسبت به بیماری و آفات و تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در سوخت و ساز گیاهان باشد (Emam and Niknezhad, 2004). یکی از مهمترین تنش‌ها، تنش خشکی است که ممکن است تحت شرایط بارندگی کم، دمای بالا و وزش باد حادث شود و واکنش گیاه نسبت به آن بستگی به مرحله‌ای از رشد دارد که خشکی در آن مرحله رخ می‌دهد (Ahangari, 2007).

علف‌هرز گیاهی ناخواسته و مضر است که مزاحم و یا مانع عملیات زراعی بوده و باعث افزایش هزینه‌های داشت و کاهش عملکرد محصولات زراعی می‌شود (Diyanat *et al.*, 2007). در داخل مزرعه گندم به‌طور معمول تعداد بسیار متنوعی از علف‌های‌هرز وجود دارند. تنوع علف‌های‌هرز موجود در داخل یک مزرعه گندم بر حسب نوع محصول سال قبل، تاریخ کاشت، شرایط خاک و شرایط اقلیمی متغیر است. اما به‌طور کلی جدی‌ترین علف‌های‌هرز، علف‌های هم خانواده گندم، یعنی علف‌های‌هرز متعلق به تیره گندمیان[3] می‌باشد؛ زیرا این علف‌های هرز به‌طور معمول نسبت به آشیان‌های اکولوژیک[4] مشابه گندم و نسبت به سیستم زراعی متداول در مزرعه گندم[5] به خوبی سازگاری دارند، چون نیازهای غذایی و تاج‌پوششی

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته شناسایی و مبارزه با علف‌های هرز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند
(*- نویسنده مسئول: Email: farzane.golestanifar@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v15i2.53314

3- Poaceae
4- Ecological niche
5- *Triticum aesativum* L.

آنها بسیار مشابه گندم است به‌همین جهت رقابت‌کننده‌هایی قوی و جدی هستند (Mohammaddoust Chamanabad *et al.,* 2010). در ایران تعدادی از علف‌های‌هرز وجود دارند که به دلایلی از جمله کم اهمیت بودن طی سال‌های گذشته، بی‌توجهی نسبت به افزایش جمعیت آنها و عدم تحقیق برای یافتن روشی مؤثر برای کنترل آنها، هنوز راه حل مناسبی برای کنترل آنها یافت نشده است و در آینده باید به‌طور جدی مورد توجه قرار گیرند؛ یکی از این علف‌های هرز، چاودار است (Zand *et al.,* 2013). بسیاری از مناطق ایران که در آن‌ها گندم کشت می‌شود با مشکل چاودار[1] روبه‌رو هستند (Baghestani and Atri, 2003). توقعات کم این گیاه همراه با توانایی دگرآسیبی و مورفولوژی و چرخه زندگی مشابه گندم باعث پایداری و افزایش سطح آن در مزارع گندم پاییزه شده است (Pester *et al.,* 2000).

رقابت از موضوعات کلیدی در مباحث اکوفیزیولوژیک جوامع گیاهی است، در این نوع تداخل، علف‌های‌هرز از طریق همجواری با گیاه زراعی، برای جذب منابع نور، آب و مواد غذایی به رقابت پرداخته و رشد و نمو و عملکرد گیاهان زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Evans *et al.,* 2003). علف‌های‌هرز اغلب برای منابع محدود آب خاک با گیاه‌زراعی رقابت می‌کنند و قابلیت دسترسی به آب را در گیاه‌زراعی کاهش می‌دهند؛ لذا قابلیت دسترسی به آب کاهش‌یافته و میزان تنشی که گیاه باید تجربه کند، افزایش می‌یابد؛ چرا که تنش آبی زمانی ایجاد می‌شود که آب از دست رفته از طریق تعرق، از آب جذب شده از خاک و از طریق ریشه بیشتر شود (Asghari *et al.,* 2001). رقابت بین علف‌های هرز و گیاهان زراعی بر سر آب سبب کاهش رطوبت موجود در خاک شده که می‌تواند باعث تنش آب و در نهایت کاهش رشد علف‌های هرز و عملکرد گیاهان زراعی شود. سازگاری برای اجتناب یا تحمل تنش رطوبت یا برای حفظ آب در بافت‌ها به‌طور گسترده‌ای در علف‌های هرز و گیاهان زراعی دیده می‌شود و اغلب درجه تنشی را که گیاه تجربه می‌کند را نشان می‌دهد (Zand *et al.,* 2004). تا دوره زمانی معینی پس از رویش به دلیل محدود بودن گستردگی سامانه‌های ریشه‌ای وقوع رقابت ناممکن است؛ البته، با عنایت به روابط مکانی نسبتاً نزدیکی که غالباً علف‌های هرز و گیاهان زراعی در سطح مزرعه با آن مواجه هستند، همپوشانی نواحی تخلیه آب، در صورتی‌که عرضه آن محدود باشد، می‌تواند نسبتاً زود در چرخه زندگی گیاه زراعی روی دهد (Rashed Mohasel and Hoseini, 2007).

کارآیی مصرف آب[2] یکی از خصوصیات مهم فیزیولوژیک می‌باشد و نشان‌دهنده توانایی گیاه در مقابله با کمبود آب است؛ عواملی که کارآیی مصرف آب را تحت تأثیر قرار می‌دهند شامل عوامل آب و هوایی، شرایط خاک و عوامل گیاهی هستند (Majd Nasiri, 2009). از آنجا که مقدار محصول گیاهان با یکدیگر مساوی نیست، تبخیر و تعرق یا آب مصرفی آنها نیز با یکدیگر برابر نمی‌باشد، در نتیجه نسبت تولید ماده خشک به آب مصرفی در آنها تغییرات زیادی را نشان می‌دهد. حتی در مورد یک گیاه خاص هم، مقدار ثابتی نبوده و تحت تأثیر شرایط جوی و مدیریت زراعی متفاوت برای واریته‌های گوناگون گیاه کم و زیاد می‌شود (Gaemi and Siyadat, 1994). کیو و همکاران (Qiu *et al.,* 2008) در ارزیابی کارایی مصرف آب ارقام گندم، مقدار آن را بر اساس عملکرد بیولوژیک، ۱ تا ۲/۶ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. صفریان و عبدالشاهی (Safarian and Abdolshahi, 2014) کارایی مصرف آب در چند رقم گندم را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند رقم روشن کمترین مقدار کارایی مصرف آب را داشت. کرام و همکاران (Karam *et al.,* 2007) کارایی مصرف آب آفتابگردان را در شرایط آبیاری کامل ۰/۷۴ کیلوگرم در متر مکعب برآورد نموده و نشان دادند با کم آبی در اوایل آبیاری این مقدار کاهش یافته و در مراحل بعدی افزایش می‌یابد. عزت احمدی و همکاران (Ezzat Ahmadi *et al.,* 2010) بیان کردند که با اعمال تیمار تنش رطوبتی، کارایی مصرف آب گندم بر حسب عملکرد دانه در هر دو سال آزمایش کاهش یافت. به‌طور نسبی، در شرایط زراعی، افزایش کمبود آب سبب افزایش راندمان مصرف آب می‌شود؛ به‌عبارت دیگر در شرایط نزدیک به تنش کمبود آب، گیاه در مقایسه با شرایط رطوبتی مطلوب، نسبت به میزان آب مصرف شده محصول بیشتری تولید می‌کند (Shabiri *et al.,* 2006). در مناطق تحت تنش، به‌منظور افزایش عملکرد دانه، صفات مورد نظر بایستی در راستای توانایی بیشتر برای جذب آب، کارایی بیشتر برای تولید ماده خشک به‌ازای مقدار آب جذب شده و توانایی گیاه برای اختصاص بیشتر ماده خشک به دانه باشد (Richards, 1996). هدف از این آزمایش بررسی تغییرات کارایی مصرف آب و وزن خشک ریشه گندم و چاودار در شرایط وجود تنش خشکی و رقابت درون‌گونه‌ای و برون گونه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند به‌صورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و با استفاده از طرح سری‌های افزایشی اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل تراکم گندم (*Triticum aesativum* L.) رقم روشن در چهار سطح شامل (صفر، ۸، ۱۶، ۲۴ بوته در گلدان معادل ۰، ۲۲۵، ۴۵۰، ۶۷۵ بوته در متر مربع)، تراکم چاودار (*Secale cereale* L.) در چهار سطح (صفر، ۲، ۴، ۶ بوته در گلدان و معادل ۰، ۵۵، ۱۱۰، ۱۶۵ بوته در متر مربع) و تنش خشکی

1- *Secale cereale* L.
2- Water Use Efficiency

در دو سطح شامل عدم وجود تنش و وجود تنش (به‌ترتیب آبیاری در ۲۰٪ و ۶۰٪ تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی) بود. با توجه به تراکم صفر گندم و چاودار دو تجزیه جداگانه برای هر گیاه انجام شد. ارتفاع و قطر هر گلدان برابر با ۲۱/۵ سانتی‌متر و حجم آن چهار لیتر بود. درصد رطوبت ظرفیت زراعی خاک مورد استفاده (دارای بافت لومی و شامل ۱۰ درصد رس، ۴۲ درصد سیلت و ۴۸ درصد شن) در آزمایشگاه تعیین شد (FC = ۱۳٪) و سپس به‌منظور توزیع یکنواخت آب بین ذرات خاک، نصف مقدار آب لازم تا سقف ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌طور کامل با خاک هر گلدان در داخل تشت مخلوط شد (Sayyari-zahan *et al.,* 2009). با توجه به نیاز کودی گندم و براساس وزن خاک در هکتار، عناصر غذایی لازم (NPK) برای چهار کیلوگرم خاک محاسبه و به‌صورت محلول همراه با آب محاسبه شده برای ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (۵۸۵ سی‌سی در هر گلدان)، به خاک اضافه و به‌خوبی مخلوط گردید. در انتها خاک به گلدان‌ها منتقل و فشرده شد به‌طوری که اتصال ذرات خاک به‌خوبی انجام گردید. بذور گیاهان گندم و چاودار با دو برابر تراکم مورد نیاز کشت شد و بعد از آن باقی‌مانده آب لازم اضافه شد و گلدان‌ها در هر دو سطح رطوبتی به وزن یکسانی (۵۳۴۰ گرم برای ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) رسیدند. آبیاری بر اساس تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی خاک انجام شد به‌طوری‌که در سطح ۲۰ و ۶۰ درصد به ترتیب با کاهش تقریبی وزن گلدان‌ها به میزان ۱۱۵ و ۳۵۵ گرم، آبیاری مجدد صورت پذیرفت. کارایی مصرف آب در تیمارهای مختلف آزمایش، با محاسبه نسبت میزان ماده خشک تولید شده (*DM*) به آب مصرفی خالص گیاه (*WU*) تعیین شد (Vafabakhsh *et al.,* 2009).

$$WUE = \frac{DM}{WU} \qquad (۱)$$

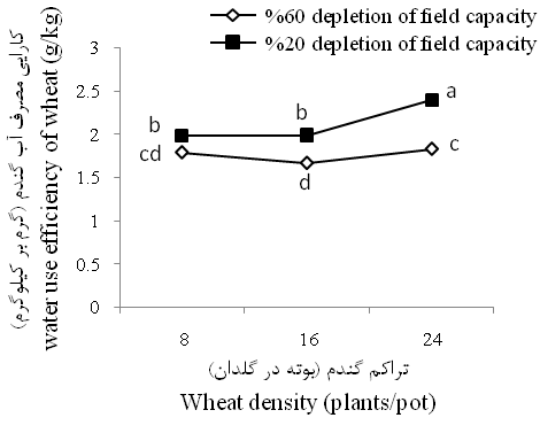
میزان کل آب مصرفی در هر گلدان از طریق تفاضل وزن گلدان‌ها در قبل و بعد از توزین آن‌ها و مجموع این مقادیر در طی فصل رشد محاسبه شد. به‌منظور محاسبه میزان آب مصرفی خالص گیاه، تعداد سه گلدان در هر سطح رطوبتی را به حد ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی رسانده و در هنگام تخلیه رطوبت خاک به میزان ۲۰ و ۶۰ درصد، آبیاری مجدد تا سقف ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی صورت پذیرفت. این حجم آب مصرفی میزان تبخیر از سطح هر گلدان را نشان داد که با تفاضل آن از کل آب مصرفی، میزان آب مصرفی خالص گیاه به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری وزن خشک ریشه (در انتهای فصل رشد)، خاک گلدان‌ها داخل سبدهایی در سطل آب قرار گرفتند و بدین صورت خاک اضافی موجود در لابه‌لای ریشه‌ها در ته سطل ته‌نشین شد و در مرحله بعد ریشه‌ها با آب تحت فشار، شسته و ریشه‌های گندم و چاودار با توجه به علامت‌گذاری محل طوقه و همچنین تفاوت رنگ آن‌ها (ریشه چاودار متمایل به سفید و ریشه گندم قهوه‌ای کم‌رنگ بود) با دقت از یکدیگر تفکیک شدند. ریشه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد هوا خشک و وزن آنها با ترازویی با دقت یک‌هزارم گرم اندازه‌گیری شد. برای پردازش داده‌ها و محاسبات آماری از ماکرو DSAASTAT Ver. 1.022 در محیط نرم‌افزار Excel و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel و Sigma plot و برای مقایسه میانگین از آزمون LSD محافظت شده (FLSD) با سطح معنی‌داری پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

کارایی مصرف آب گندم

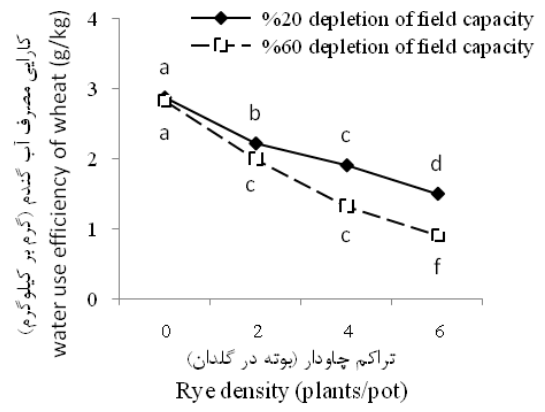
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تمامی اثرات ساده و متقابل، تأثیر معنی‌داری (P<۰/۰۱) بر کارایی مصرف آب گندم داشتند (جدول ۱). براساس نتایج مقایسه میانگین، با افزایش تنش خشکی از سطح ۲۰ درصد تخلیه رطوبت خاک به ۶۰ درصد، کارایی مصرف آب گندم به میزان ۱۶/۹۸ درصد کاهش یافت (جدول ۲) که این می‌تواند به دلیل کاهش بیشتر صورت کسر (یعنی عملکرد بیولوژیک) در قیاس با مخرج کسر (آب خالص مصرفی گیاه) باشد. علت پایین بودن کارایی مصرف آب را می‌توان به‌عوامل متابولیکی مؤثر بر انتشار دی‌اکسید کربن به داخل کلروپلاست و کاهش کربوکسیلاسیون در طول تنش، که در این شرایط عوامل محدودکننده غیرروزنه‌ای ناشی از اختلال در واکنش‌های بیوشیمیایی که نقش مهمی در فتوسنتز ایفا می‌کنند، نسبت داد (McCree and Richardson, 1987). آندرسون (Anderson, 1992) گزارش نمود تحت تیمارهای تنش رطوبتی شدید در مراحل بحرانی نمو (طویل شدن ساقه، گلدهی و ظهور بساک) به علت تأثیر تنش بر تجمع ماده خشک، کارایی مصرف آب گندم کاهش یافت. عبدالهی و همکاران (Abdollahi *et al.,* 2013) در گیاه دارویی بالنگو، باروت زاده و همکاران (Barotzade *et al.,* 2009) و الکسی و زینهو (AL–Kaisi and Xinhua, 2003) در ذرت به نتایج مشابهی دست یافتند. با افزایش تراکم گندم از ۸ به ۱۶ و ۲۴ بوته در گلدان، کارایی مصرف آب به‌ترتیب ۳/۱۷ درصد کاهش و ۱۰/۴۳ درصد افزایش یافت. کمترین کارایی مصرف آب در تراکم ۱۶ بوته گندم درگلدان (۱/۸۳ گرم بر کیلوگرم) و بیشترین آن در تراکم ۲۴ بوته در گلدان (۲/۱۱ گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (جدول ۲). احتمالاً در تراکم ۱۶ بوته، افزایش در میزان آب مصرفی گیاه (مخرج کسر) بیشتر از افزایش عملکرد بیولوژیک گندم (صورت کسر) بود، در نتیجه باعث کاهش کارایی مصرف آب شده است اما در تراکم ۲۴ بوته در گلدان، افزایش در عملکرد بیولوژیک به دلیل افزایش تعداد بوته در واحد گلدان بسیار بیشتر از افزایش در تبخیر و تعرق جامعه گیاهی بود. باروت‌زاده و همکاران (Barotzade *et al.,* 2009)

نیز بیان کردند که تراکم بوته تأثیر معنی‌داری بر افزایش کارایی مصرف آب در ذرت دانه‌ای داشت به‌طوری‌که در تراکم‌های ۷/۵، ۸/۵ و ۹/۵ بوته در مترمربع، کارایی مصرف آب به‌ترتیب ۰/۷۱، ۰/۷۶ و ۰/۷۸ کیلوگرم در مترمکعب بود. همچنین با افزایش تراکم چاودار، کارایی مصرف آب گندم به‌صورت معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری‌که با افزایش تراکم از صفر به ۲، ۴ و ۶ بوته در گلدان، کارایی مصرف آب به‌ترتیب ۲۴/۳۰، ۴۲/۹۶ و ۵۷/۳۹ درصد کاهش یافت. بالاترین میزان آن در شرایط بدون رقابت یا در تراکم صفر بوته چاودار (۲/۸۴ گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن در شش بوته چاودار (۱/۲۱ گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (جدول ۲). احتمالاً رقابت برون‌گونه‌ای از طریق کاهش صفات رشدی، اجزای عملکرد و عملکرد گندم باعث کاهش عملکرد بیولوژیک و به دنبال آن کاهش در میزان کارایی مصرف آب شد. اثر متقابل تنش خشکی و رقابت درون گونه‌ای نیز بر کارایی مصرف آب گیاه معنی‌دار بود به‌طوری‌که در سطح ۲۰ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی خاک، با افزایش تراکم گندم از ۸ به ۲۴ بوته در گلدان، کارایی مصرف آب گندم به‌ترتیب ۱۶/۹۰ و ۲/۱۳ درصد افزایش یافت. بالاترین کارایی مصرف آب گندم در تراکم ۲۴ بوته در گلدان گندم و در شرایط عدم تنش (۲/۳۹ گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن در تراکم ۱۶ بوته و وجود تنش خشکی (۱/۶۷ گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد همچنین در هر دو سطح تنش خشکی، بین تراکم ۸ و ۱۶ بوته گندم در گلدان اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۱). این امر نشان‌دهنده این است که اثر تنش خشکی بر کاهش کارایی مصرف آب گندم بیشتر از رقابت درون‌گونه‌ای بود. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش تراکم چاودار و تنش خشکی، کارایی مصرف آب به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد به‌طوری‌که در سطح ۲۰ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبت خاک با افزایش تراکم چاودار از صفر به ۶ بوته در گلدان، کارایی مصرف آب گندم به‌ترتیب ۴۷/۸۴ و ۶۸/۵۹ درصد کاهش یافت. در شرایط عدم وجود رقابت (صفر بوته در گلدان چاودار)، بین دو سطح تنش خشکی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد اما با افزایش تراکم چاودار این اختلاف بیشتر شد در نتیجه کارایی مصرف آب تحت تأثیر رقابت برون‌گونه‌ای، به میزان بیشتری کاهش یافت. ماسینگا و همکاران نیز دریافتند که حضور تاج خروس باعث کاهش دسترسی ذرت به منابع آب موجود در خاک و کاهش کارایی مصرف آب ذرت از طریق اتلاف آن توسط تاج خروس شد. آنها اشاره کردند که در دو گونه مذکور به دلیل همپوشانی ناحیه استخراج آب شدت رقابت برای آب بیشتر می‌شود. اثر متقابل رقابت درون گونه‌ای و برون گونه‌ای نیز تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب گندم داشت. بیشترین آن مربوط به تراکم ۸ بوته در گلدان گندم و نبود چاودار یعنی عدم حضور رقابت درون گونه‌ای و برون گونه‌ای (۳/۲۲ گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن در زمان حضور ۶ بوته در گلدان چاودار و ۸ بوته در گلدان گندم (۰/۹۷ گرم بر کیلوگرم) بود (شکل ۳). همچنین درصد کاهش کارایی مصرف آب در اثر افزایش تراکم چاودار، در تراکم پایین گندم (تراکم ۸ بوته، ۶۹/۹۱ درصد) بسیار بیشتر از تراکم بالای آن (تراکم ۱۶ بوته، ۵۸/۸۴ درصد و تراکم ۲۴ بوته، ۴۲/۱۲ درصد) بود، زیرا در تراکم‌های بالا با توجه به اینکه عملکرد بیولوژیک تک بوته گندم کاهش یافت اما عملکرد در واحد گلدان به دلیل افزایش تراکم گندم بیشتر شد، در نتیجه باعث افزایش کارایی مصرف آب حتی در صورت وجود رقابت گردید.



شکل۱- اثر متقابل رقابت درون گونه ای (تراکم گندم) و تنش خشکی بر کارایی مصرف آب گندم

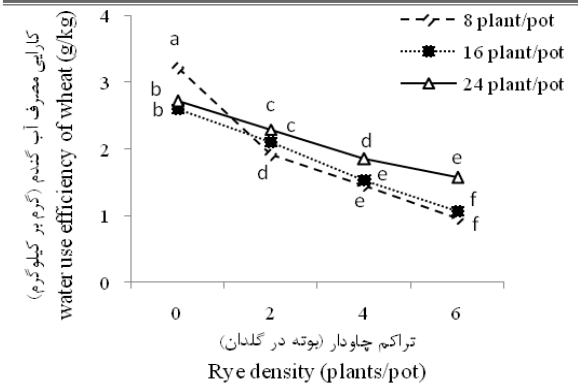
Figure1. The interaction effect of wheat density and drought stress on water use efficiency of wheat



شکل۲- اثر متقابل رقابت برون گونه ای (تراکم چاودار) و تنش خشکی بر کارایی مصرف آب گندم

Figure2. The interaction effect of rye density and drought stress on water use efficiency of wheat

اثر متقابل سه‌گانه تنش خشکی، تراکم گندم و تراکم چاودار نیز نشان داد که بیشترین کارایی مصرف آب گندم در زمان عدم حضور تنش خشکی و رقابت درون گونه‌ای (۸ بوته گندم در گلدان) و رقابت برون گونه‌ای (صفر بوته چاودار در گلدان) به میزان ۳/۳۱ گرم بر کیلوگرم و کمترین آن در زمان حضور تنش خشکی و تراکم ۱۶ بوته در گلدان گندم و ۶ بوته در گلدان چاودار به میزان ۰/۷۵ گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. درنتیجه حضور توأم تنش و رقابت درون و برون گونه‌ای (در واقع وجود چهار منبع رقابتی) باعث کاهش هرچه بیشتر کارایی مصرف آب در گندم گردید (جدول ۳).



شکل۳- اثر متقابل رقابت درون گونه ای (تراکم گندم) و برون گونه ای (تراکم چاودار) بر کارایی مصرف آب گندم

Figure3. The interaction effect of wheat density and rye density on water use efficiency of wheat

جدول۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن خشک ریشه و کارایی مصرف آب در گندم

Table 1- Analyses of variance (mean of squares) of water use efficiency and root dry weight in wheat

منابع تغییرات S.O.V		درجه آزادی d.f	کارایی مصرف آب Water use efficiency	وزن خشک ریشه Root dry weight
تنش خشکی	Drought	1	2.326 **	0.35 ns
تراکم گندم	Wheat density	2	0.520 **	55.17 **
تراکم چاودار	Rye density	3	8.959 **	59.50 **
تراکم گندم×تنش خشکی	Drought x Wheat density	2	0.207 **	1.12 ns
تراکم چاودار×تنش خشکی	Drought x Rye density	3	0.313 **	0.35 ns
تراکم چاودار ×تراکم گندم	Wheat density x Rye density	6	0.411 **	2.09 ns
تراکم گندم× تراکم چاودار ×تنش خشکی	Drought x Wheat density x Rye density	6	0.118 **	3.09 **
خطا	Residual	48	0.028	0.72
ضریب تغییرات (٪)	CV (%)		8.56	18.40

ns و **: به‌ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح یک درصد

ns and **: Not-significant and significant at 1% probability level, respectively

جدول ۲- مقایسه میانگین اثرات اصلی برای وزن خشک ریشه و کارایی مصرف آب در گندم

Table 2- Means comparison of the main effects on water use efficiency and root dry weight in wheat

		کارایی مصرف آب Water use efficiency (g kg^{-1})	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
تنش خشکی Drought (depletion of field capacity)	20%	2.12 a	4.69 a
	60%	1.76 b	4.55 a
تراکم گندم Wheat density (plants per pot)	8	1.89 b	3.15 c
	16	1.83 b	4.53 b
	24	2.11 a	6.17 a
تراکم چاودار Rye density (plants per pot)	0	2.84 a	7.73 a
	2	2.15 b	4.68 b
	4	1.62 c	3.30 c
	6	1.21 d	2.76 d

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر عامل، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد بر طبق آزمون FLSD می‌باشند.

Means within a rows followed by the same letter are not significantly different at the 5% level according to Fishers LSD test.

جدول۳- اثر متقابل تراکم گندم، چاودار و تنش خشکی بر کارایی مصرف آب گندم

Table 3- The interaction effect of wheat and rye density and drought stress on water use efficiency of wheat

تنش خشکی Drought	تراکم گندم Wheat density	تراکم چاودار Rye density			
		0	2	4	6
۲۰٪ تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی خاک 20% depletion of field capacity	8	3.31 a	1.95 efg	1.60 hi	1.09 kl
	16	2.58 bc	2.30 d	1.69 gh	1.40 ij
	24	2.73 b	2.40 cd	2.41 cd	2.01 ef
۶۰٪ تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی خاک 60% depletion of field capacity	8	3.12 a	1.88 fg	1.31 jk	0.85 lm
	16	2.63 bc	1.92 efg	1.39 ij	0.75 m
	24	2.70 b	2.18 de	1.28 jk	1.15 jk

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ردیف و ستون، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد بر طبق آزمون FLSD می‌باشند.

Means within a rows and columns followed by the same letter are not significantly different at the 5% level according to Fishers LSD test.

وزن خشک ریشه گندم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تراکم گندم، تراکم چاودار و اثر متقابل سه‌گانه تراکم گندم در تراکم چاودار در تنش خشکی (P<۰/۰۱) تأثیر معنی‌داری بر وزن خشک ریشه گندم داشتند ولی تأثیر دیگر اثرات ساده و متقابل بر وزن خشک ریشه گندم غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). بین سطوح مختلف تنش رطوبتی از لحاظ وزن خشک ریشه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت ولی با افزایش تنش خشکی، وزن خشک ریشه ۲/۹۹ درصد کاهش یافت (جدول ۲). مطالعه اثر تنش رطوبتی خاک بر توسعه ریشه‌ای گونه‌های گیاهی مختلف به‌عنوان معیاری جهت تعیین مقاومت به خشکی و پتانسیل تولید در شرایط تنش می‌باشد؛ کاهش حجم و وزن بوته در هنگام تنش به این دلیل است که تنش خشکی سبب کاهش سطح برگ و بسته شدن روزنه‌ها، کاهش جذب و انتقال آب و عناصر غذایی به دنبال کاهش رطوبت در منطقه ریشه و به‌طور کلی ساز و کارهای تحمل می‌باشد (Shaeban *et al.*, 2011). خزاعی و کافی (Khazaie and Kafi, 2003) نیز بیان کردند که وزن خشک ریشه گندم در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط بدون تنش کاهش یافت ولی بر اساس گزارش آئرتز و چاپلین (Aerts and Chapin, 1999) در شرایط تنش خشکی، گیاه ماده خشک بیشتری را به سیستم ریشه‌ای اختصاص می‌دهد تا توانایی جذب ریشه‌ها افزایش یابد؛ در این صورت در مورفولوژی ریشه‌ها نیز تغییراتی مانند افزایش طول ریشه در واحد وزن ایجاد می‌شود. تیلمن (Tilman, 1985) نیز مشاهده کرد که در محیط‌هایی با کمبود عناصر غذایی، گیاهان عمده ماده خشک تولیدی را به ریشه‌ها اختصاص می‌دهند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بین سطوح مختلف تراکم گندم بر افزایش وزن خشک ریشه گندم، اختلاف معنی‌داری (P<۰/۰۱) وجود داشت. در تراکم‌های ۸، ۱۶ و ۲۴ بوته گندم در گلدان، وزن خشک ریشه گندم به‌ترتیب ۳/۵۱، ۴/۵۳ و ۶/۱۷ گرم در گلدان بود، با افزایش تراکم گندم در گلدان، وزن خشک ریشه تک بوته گندم کاهش یافت و میزان آن در تراکم‌های ۸، ۱۶ و ۲۴ بوته گندم به‌ترتیب ۰/۴۰، ۰/۲۸ و ۰/۲۵ گرم در گلدان بود (جدول ۲) که این امر می‌تواند به دلیل افزایش رقابت درون‌گونه‌ای بین بوته‌های گندم باشد. خیامیم (Khyamim, 2001) علت اصلی عدم افزایش وزن خشک ریشه در تراکم‌های بالا را به افزایش همپوشانی برگ‌ها نسبت داد. همچنین با افزایش تراکم چاودار از صفر به ۲، ۴ و ۶ بوته در گلدان، وزن خشک ریشه گندم به‌ترتیب ۳۹/۴۶، ۵۷/۳۱ و ۶۴/۳۰ درصد کاهش یافت. بیشترین وزن خشک ریشه در کشت خالص گندم به میزان ۷/۷۳ گرم و کمترین آن در تراکم ۶ بوته چاودار به میزان ۲/۷۵ گرم در گلدان بود (جدول ۲). بائر و کارلن (Kasperbauer and Karlen, 1994) گزارش کردند که در شرایط آلوده بودن مزرعه به علف‌هرز، گیاه زراعی قسمت عمده ماده خشک تولید شده را به اندام هوایی اختصاص می‌دهد؛ به‌عبارت دیگر این شرایط نسبت ریشه به اندام هوایی کاهش می‌یابد. در یک مطالعه دیگر بر روی ذرت دیده شد که در شرایط وجود علف‌های هرز سیستم ریشه‌ای در این گیاه کمتر توسعه می‌یابد و این امر جذب آب را مختل می‌سازد (Rajcan and Swanton, 2001). تولنار و همکاران (Tollenaar *et al.*, 1994) دریافتند که در شرایط آلودگی به علف‌های هرز، ترشح مواد سمی ناشی از ریشه این گیاهان ممکن است رشد و توسعه ریشه گیاه زراعی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. به‌علاوه، تحت این شرایط گیاه زراعی ممکن است از طریق اختصاص نسبت بالاتری از ماده خشک تولید شده به اندام هوایی، قدرت رقابتی خود را در کسب منابع محیطی به‌ویژه نور تا حدی حفظ کند. مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه تراکم گندم، تراکم چاودار و تنش خشکی بر وزن خشک ریشه گندم نشان داد که تراکم بالای گندم و چاودار و وجود تنش خشکی، باعث کاهش هرچه بیشتر ماده خشک ریشه تک بوته گندم شدند. بیشترین وزن خشک ریشه در گلدان در تراکم ۲۴ بوته گندم و در شرایط عدم حضور چاودار و تنش خشکی (۱۱/۴۷ گرم) و کمترین آن در تراکم ۸ بوته گندم با شش بوته چاودار در شرایط حضور تنش خشکی (۱/۷۰ گرم) بود (جدول ۴).

توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که رقابت برون گونه‌ای بین بوته‌های گندم و چاودار تأثیر بیشتری نسبت به تنش خشکی بر کاهش عملکرد ریشه گندم داشته است. به‌طور کلی تداخل ناشی از علف‌های هرز می‌تواند منجر به کاهش وزن خشک ریشه گندم شود و در نتیجه از توانایی کسب منابع محیطی، بکاهد.

جدول٤- اثر متقابل تراکم گندم، چاودار و تنش خشکی بر وزن خشک ریشه گندم

Table 4- The interaction effect of wheat and rye density and drought stress on root dry weight of wheat

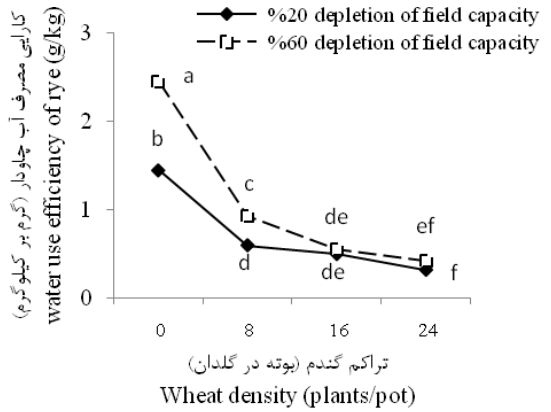
تنش خشکی Drought	تراکم گندم Wheat density	تراکم چاودار Rye density 0	2	4	6
۲۰٪ تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی خاک 20% depletion of field capacity	8	6.78 c	3.03 ijk	2.04 mn	1.70 n
	16	7.63 bc	5.54 de	2.82 jkl	2.66 kl
	24	8.77 b	6.29 cd	4.92 ef	4.00 fgh
۶۰٪ تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی خاک 60% depletion of field capacity	8	4.80 ef	2.65 kl	2.28 lm	1.88 mn
	16	6.93 c	4.29 fg	3.46 ghi	2.87 ijk
	24	11.47 a	6.28 cd	4.25 fgh	3.39 hij

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ردیف و ستون، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد بر طبق آزمون FLSD می‌باشند.

Means within a rows and columns followed by the same letter are not significantly different at the 5% level according to Fishers LSD test.

کارایی مصرف آب چاودار

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش خشکی، تراکم گندم، تراکم چاودار و اثر متقابل دوگانه تراکم گندم در تنش خشکی ($P<0/01$) تأثیر معنی‌داری بر کارایی مصرف آب چاودار داشتند ولی تأثیر دیگر اثرات متقابل بر این صفت غیر معنی‌دار بود (جدول ۵). براساس نتایج مقایسه میانگین، با افزایش تنش خشکی از سطح ۲۰ درصد تخلیه رطوبت خاک به ۶۰ درصد، کارایی مصرف آب چاودار به میزان ۳۳/۹۵ درصد افزایش یافت (جدول ۶). این امر به دلیل این است که چاودار در شرایط نرمال آب بیشتری را نسبت به شرایط وجود تنش خشکی مصرف نمود در نتیجه کارایی مصرف آب به دلیل افزایش میزان آب مصرفی کاهش پیدا کرد. شاه حسینی و همکاران (Shahhoseini *et al.*, 2012) نیز بیان کردند که مقدار کارایی مصرف آب در شرایط تنش متوسط (۶۶ درصد FC) و تنش شدید (۳۳ درصد FC) به ترتیب ۱۹/۶۲ و ۲۹/۱۱ درصد نسبت به شاهد (۱۰۰ درصد FC) افزایش یافت. راد و همکاران (Rad *et al.*, 2013) در اکالیپتوس و پرویزی و نباتی (Parvizi and Nabati, 2004) در ذرت دانه‌ای به نتایج مشابهی دست یافتند. کرام و همکاران (Karam *et al.*, 2004) تیمارهای I_{100} (آبیاری کامل) و I_{60} (آبیاری در زمانی‌که ۶۰ درصد رطوبت خاک در نقطه ظرفیت مزرعه‌ای تخلیه شده باشد) را مورد مقایسه قرار دادند و نشان دادند که متوسط دوساله کارایی مصرف آب به‌ترتیب ۱/۶۱ و ۱/۸ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب آبیاری بود. با افزایش تراکم چاودار از ۲ به ۴ و ۶ بوته در گلدان، کارایی مصرف آب به‌ترتیب ۲۱/۲۸ و ۲۸/۱۶ درصد افزایش یافت (جدول ۶). مجد نصیری و همکاران (Majd Nasiri *et al.*, 2002) بیان کردند که با افزایش تراکم گلرنگ کارایی مصرف آب آن نیز افزایش یافت به‌طوری‌که تراکم ۴۰ بوته در متر مربع با میانگین ۰/۴۸۱ کیلوگرم بر مترمکعب بیشترین و تراکم ۱۳ بوته در متر مربع با میانگین ۰/۳۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب کمترین کارایی مصرف آب را داشت. همچنین افزایش تراکم گندم، کارایی مصرف آب چاودار را به‌طور معنی‌داری کاهش داد به‌طوری‌که با افزایش تراکم از صفر به ۸، ۱۶ و ۲۴ بوته در گلدان، کارایی مصرف آب به‌ترتیب ۶۰/۵۱، ۷۲/۸۲ و ۸۱/۰۳ درصد کاهش یافت. بیشترین کارایی مصرف آب در شرایط عاری از رقابت (۱/۹۵ گرم بر کیلوگرم) و کمترین آن در تراکم ۲۴ بوته گندم در گلدان (۰/۳۷ گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد رقابت برون گونه‌ای با تأثیر منفی بر عملکرد بیولوژیک چاودار باعث کاهش شدید کارایی مصرف آب در تراکم‌های



شکل۴- اثر متقابل رقابت برون گونه ای (تراکم گندم) و تنش خشکی بر کارایی مصرف آب چاودار

Figure4. The interaction effect of wheat density and drought stress on water use efficiency of rye

بالای گندم شد. همانطور که در شکل۴ مشاهده می‌شود با افزایش تراکم گندم و تنش خشکی، کارایی مصرف آب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت به‌طوری‌که بیشترین شیب کاهش مربوط به شرایط وجود تنش خشکی بود و در سطح ۲۰ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبت خاک، با افزایش تراکم گندم از صفر به ۲۴ بوته در گلدان کارایی مصرف آب چاودار به‌ترتیب ۷۷/۸۹ و ۸۲/۸۹ درصد کاهش یافت. همچنین براساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین کارایی مصرف آب در شرایط عاری از رقابت و وجود تنش خشکی (۲/۴۶ گرم بر کیلوگرم) و کمترین در تراکم ۲۴ بوته گندم و عدم حضور تنش (۰/۳۲ گرم بر کیلوگرم) مشاهده شد. افزایش تراکم گندم به دلیل ایجاد رقابت برون گونه‌ای سبب کاهش عملکرد بیولوژیک چاودار شد و همچنین در شرایط نرمال چاودار میزان مصرف آب بیشتری را نسبت به شرایط وجود تنش خشکی مصرف کرد، در نتیجه سبب کاهش بیشتر کارایی مصرف آب در شرایط وجود رقابت برون گونه‌ای (۲۴ بوته گندم در گلدان) و نبود تنش خشکی (۲۰ درصد تخلیه رطوبت ظرفیت زراعی خاک) گردید.

جدول ۵- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن خشک ریشه و کارایی مصرف آب در چاودار

Table 5- Analyses of variance (mean of squares) of water use efficiency and root dry weight in rye

منابع تغییرات S.O.V		درجه آزادی d.f	کارایی مصرف آب Water use efficiency	وزن خشک ریشه Root dry weight
تنش خشکی	Drought	1	2.489 **	703.51 **
تراکم گندم	Wheat density	3	9.240 **	435.49 **
تراکم چاودار	Rye density	2	0.530 **	182.13 **
تراکم گندم×تنش خشکی	Drought x Wheat density	3	0.874 **	23.85 ns
تراکم چاودار×تنش خشکی	Drought x Rye density	2	0.018 ns	20.68 ns
تراکم چاودار ×تراکم گندم	Wheat density x Rye density	6	0.018 ns	8.39 ns
تراکم گندم× تراکم چاودار ×تنش خشکی	Drought x Wheat density x Rye density	6	0.026 ns	27.44 ns
خطا	Residual	48	0.023	20.45
ضریب تغییرات (٪)	CV (%)	-	16.87	32.92

ns و **: به‌ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح یک درصد

ns and **: Not-significant and significant 1% probability level, respectively

وزن خشک ریشه چاودار

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح رطوبتی، تراکم چاودار و تراکم گندم بر وزن خشک ریشه چاودار معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود ولی سایر اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه تأثیر معنی‌داری نداشتند (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش تنش خشکی، وزن خشک ریشه چاودار به‌طور معنی‌داری کاهش (۳۷/۱۴ درصد) یافت (جدول ۶). میشل و همکاران (Michele *et al.,* 2009) بیان کردند که با افزایش شدت تنش، فتوسنتز برگ کاهش یافته و احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی سلول افزایش می‌یابد در نتیجه دسترسی به مواد فتوسنتزی کاهش یافته و رشد ریشه به‌طور اجتناب‌ناپذیری متوقف می‌شود، بنابراین در شرایطی که تنش خشکی بر گیاه غلبه می‌کند، رشد و نمو ریشه نسبت به شرایط فراهمی رطوبت، کاهش می‌یابد. کک و همکاران (Keck *et al.,* 1984) نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. با افزایش تراکم چاودار، وزن خشک ریشه چاودار به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۶) اما بین تراکم ۴ و ۶ بوته در گلدان این اختلاف معنی‌دار نبود و همچنین با افزایش تراکم چاودار از ۲ به ۴ و ۶ بوته در گلدان، وزن خشک ریشه تک بوته چاودار به‌ترتیب ۳۳/۵۸ و ۴۹/۸۱ درصد کاهش یافت. افزایش تراکم چاودار به دلیل افزایش رقابت درون گونه‌ای بین بوته‌ها، باعث کاهش وزن خشک ریشه تک بوته چاودار شد که این مقدار کاهش در تراکم شش بوته در گلدان چاودار بیشتر از چهار بوته بود. همچنین با افزایش تراکم گندم در گلدان نیز وزن خشک ریشه چاودار کاهش معنی‌داری پیدا کرد اما این کاهش بین تراکم‌های ۸، ۱۶ و ۲۴ بوته معنی‌دار نبود (جدول ۶). با توجه به سیستم ریشه‌ای گسترده و انبوه چاودار نسبت به گندم، در شرایط رقابت (به‌خصوص در تراکم‌های بالای گندم) با افزایش تخصیص مواد فتوسنتزی به ریشه، مانع از کاهش وزن خشک ریشه خود شد. سرخی لله لو و همکاران (Sorkhi Lellahlo *et al.,* 2008) بیان کردند که با افزایش تراکم گندم، نسبت وزن ریشه به ساقه یولاف افزایش یافت. مارتین و همکاران (Martin *et al.,* 1998) اظهار داشتند که تحت تأثیر تداخل ریشه‌های دو گونه (گندم و چچم) به دلیل رقابت بیشتر جهت جذب آب و عناصر غذایی گیاهان سیستم ریشه‌ای خود را توسعه می‌دهند و از طرفی به دلیل اختصاص مواد جذب شده به اندام هوایی، این نسبت افزایش می‌یابد.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات اصلی برای وزن خشک ریشه و کارایی مصرف آب در چاودار

Table 6- Means comparison of the main effects on water use efficiency and root dry weight in rye

		کارایی مصرف آب Water use efficiency (g kg^{-1})	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)
تنش خشکی Drought (depletion of field capacity)	20%	0.72 b	16.83 a
	60%	1.09 a	10.60 b
تراکم چاودار Rye density (plants/pot)	2	0.74 c	10.73 b
	4	0.94 b	14.20 a
	6	1.03 a	14.20 a
تراکم گندم Wheat density (plants/pot)	0	1.95 a	21.04 a
	8	0.77 b	12.00 b
	16	0.53 c	10.70 b
	24	0.37 d	11.10 b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر عامل، فاقد تفاوت معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد بر طبق آزمون FLSD می‌باشند.

Means within a rows followed by the same letter are not significantly different at the 5% level according to Fishers LSD test.

نتیجه‌گیری

تنش خشکی باعث کاهش وزن خشک ریشه چاودار و کارایی مصرف آب گندم و چاودار شد افزایش رقابت برون گونه‌ای بین گندم و چاودار نیز کارایی مصرف آب و وزن خشک ریشه هر دو گیاه را کاهش داد اما افزایش رقابت درون گونه‌ای، باعث افزایش صفات مورد مطالعه گردید. به‌طور کلی به دلیل همپوشانی ناحیه توسعه ریشه گندم و چاودار و گستردگی بیشتر ریشه چاودار نسبت به گندم، این گیاه از قدرت رقابت بالاتری برای جذب آب برخوردار بود.

References

1. Abdollahi, M., Maleki Farahani, S., Fotokiyan, M. H., and Hasanzade Ghort Tapeh, A. 2013. Evaluation of yield, yield component and water use efficiency of urban and shirazi Lallemantia under drought stress condition for management of irrigation. Journal of Water and Irrigation Management 3 (2): 103-120. (in Persian).
2. Aerts, R., and Chapin, F.S. 1999. The mineral nutrition of wild plants revisited: re-evaluation of processes and patterns. Advances in Ecological Research 62: 26-34.
3. Ahangari, A.R. 2007. Evaluation of effective traits in resistance to drought stress in wheat. Journal of Engineering and Natural Resources 5 (18): 42-45. (in Persian).
4. AL–Kaisi, M.M., and Xinhua, Yin. 2003. Effect of nitrogen rate, irrigation rate and plant population on corn yield and water use efficiency. Agronomy Journal 95: 1475-1482.
5. Anderson, W.K. 1992. Increasing grain yield and water use of wheat in a rain fed Mediterranean type environment. Australian Journal Agricultural Research 43: 1-17.
6. Asghari, J., Amirmoradi, Sh., and Kamkar, B. 2001. Weed physiology: Reproduction and Eco physiology. First Edition. Press University of Gilan. Pp: 260. (in Persian).
7. Baghestani, M.A., and Atri, A.R. 2003. Determination of competitive ability of wheat against rye (*Secale cereale* L.) using reciprocal yield model in Karaj. Applied Entomology and Phytopathology 71(1): 43-56. (in Persian).
8. Barotzade, M., Ayeneband, A., and Alavi Fazel, M. 2009. Effects of drought stress and plant density on yield, yield components and consumer economic efficiency water of corn hybrid SC 704 in Ahvaz climatic conditions. Journal of Crop Physiology 1: 1-8. (in Persian).
9. Diyanat, M., Rahimiyan Mashhadi, H., Baghestani, M.H., Mohammad Alizadeh, H., and Zand, A. 2007. Evaluation of Iranian cultivars of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) for competitive ability against rye (*Secale cereale*). Seed and Plant Improvement Journal 23: 267-280. (in Persian).
10. Emam, Y., and Niknezhad, M. 2004. Introduction to physiology and yield of crop plant. Second Edition. Press University of Shiraz. Pp: 571. (in Persian).
11. Evans, P.S., Knezevic, Z.S., Lindquist, J.L., Shapiro, A.C., and Blankenship, E.E. 2003. Nitrogen application influences on the critical period for weed control in corn. Weed Science 51: 408-412.
12. Ezzat Ahmadi, M., Noormohammadi, Gh., Ghodsi, M., and Kafi, M. 2010. Effect of water stress and spraying of potassium iodide on agronomic traits and grain yield of bread wheat (*Tiriticum aistivum* L.) genotypes. Iranian Journal of Field Crops Research 8(2): 177-182. (in Persian).

13. Gaemi, M., and Siyadat, H. 1994. The effect of different moisture usable regimes in yield of cotton fibers. Soil and water Research Institute. P: 963. (in Persian)
14. Karam, F., Breidy, J., Stefan, C., and Rouphael, J. 2004. Evapotranspiration, yield and water use efficiency of drip irrigated corn in the Beka valley of Lebanon. Agricultural Water Management 63(2): 125-137.
15. Karam, F., Lahoud, R., Masaad, R., Kabalan, R., Breidi, J., Chalita, C., and Riuphael, Y. 2007. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency of drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. Agriculture Water Management 90: 213-223.
16. Kasperbauer, M.J., and Karlen, D.L. 1994. Plant spacing and reflected far-red light effects on phytochromeregulated photosynthate allocation in corn seedlings. Crop Science 34: 1564-1569.
17. Keck, T.J., Wagent, P., Campbell, W.F., and Knighton, R.E. 1984. Effect of water and salt stress on growth and acetylene reduction in alfalfa. Soil Science 48: 1310-1315.
18. Khazaie, H.R., and Kafi, M. 2003. Effect of drought stress on root growth and dry matter partitioning between roots and shoots of winter wheat. Iranian Journal of Field Crops Research 1: 33-41. (in Persian with English abstract).
19. Khyamim, S. 2001. Production Simulation of sugar in different conditions of density and nitrogen fertilizer. M.Sc. Thesis. Tehran University. (in Persian with English abstract).
20. Majd Nasiri, B. 2009. Planting density effects of safflower (*Carthamus tinctorious* L.) on water use efficiency in second farming. The 4th International Conference on New Ideas in Agriculture. 21-22 October 2009. Islamic Azad University Khorasgan Branch. Isfahan. Iran.
21. Majd Nasiri, B., Karimi, M., and Normohammadi, G.H. 2002. Effects of growing season and plant densities on water use efficiency in safflower (*Carthamus tinctorious* L.) cultivars and lines. Iranian Journal of Field Crop Science 3: 235-245. (in Persian).
22. Martin, J.S., Hary, T.C., Condle, J.M., Rodney, W.B., and Corson, K.H. 1998. Above and below ground interference of wheat by Italian rye grass. Weed Science 46: 438-441.
23. Massinga, R.A., Currie, R.S., and Trooien, T.P., 2003. Water use and light interception under palmer amaranth *(Amaranthus palmeri)* and corn competition. Weed Science 51: 523-532.
24. McCree, K.J., and Richardson, S.G. 1987. Stomatal closure vs. osmotic adjustment: A comparison of stress responses. Crop Science 24: 539-543.
25. Michele, A., Douglas, T., and Frank, A. 2009. The effects of clipping and soil moisture on leaf and root morphology and root respiration in two temperate and two tropical grasses. Plant Ecology 200: 205-215.
26. Mohammaddoust Chamanabad, H., Nori-Ghanbalani, G.H., Asghari, A., and Nori-Ghanbalani, A. 2010. Wheat from production to the consumption. Press University Jihad of Ardabil. First edition. Pp: 352. (in Persian).
27. Parvizi, Y., and Nabati, E. 2004. Effect of manure application and irrigation interval on yield indices and water use efficiency in maize (*Zea mays* L.). Pajouhesh and Sazandegi 63: 21-29. (in Persian with English abstract).
28. Pester, T.A., Westra, P.L., Rndy, A., Drew, J. L., Stephen, D.M., Philip, W.S., and Gail, A. W. 2000. *Secale cereal* interference and economic thresholds in winter *Triticurn aestivurn*. Weed Science 48: 720-727.
29. Qiu, G.Y., Wang, L., He, X., Zhang, X., Chen, S., Chen, J., and Yang, Y. 2008. Water use efficiency and evapotranspiration of winter wheat and its response to irrigation regime in the north China plain. Agriculture Water Management 148: 1848-1859.
30. Rad, M.H., Jaimand, K., Assareh, M.H., and Soltani, M. 2013. Effects of drought stress on the quantity and quality of essential oil and water use efficiency in Eucalyptus (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 29(4): 772-782. (in Persian with English abstract).
31. Rajcan, I., and Swanton, C.J. 2001. Understanding maize-weed competition: Resource competition, light quality and the whole plant. Field Crops Research 71: 139-150.
32. Rashed Mohasel, M., and Hoseini, S.H. 2007. New horizons in management of weeds. First Edition. Press Ferdowsi University of Mashhad. Pp: 324. (in Persian).
33. Richards, R.A. 1996. Defining selection criteria to improve yield under drought. Plant Growth Regular 20: 157-166.
34. Safarian, A., and Abdolshahi, R. 2014. Study the inheritance of water use efficiency in bread wheat under drought stress condition. Electronic Journal of Crop Production 7(1): 181-199. (in Persian with English abstract).
35. Sayyari-zahan, M.H., Sadana, U.S., Steingrobe, B., and Claassen, N. 2009. Manganese efficiency and maganese-uptake kinetics of raya) Brassica iuncea), wheat (*Triticum aestivum*), and oal (*Avena sativa*) grown in nutrient solution and soil. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 172: 425-434.
36. Shabiri, S., Ghasemi Golazani, K., Golchin, A., and Saba, J. 2006. Effect of irrigation water on phenology and yield of three chickpea cultivars (*Cicer arietinum* L.). Journal of Agricultural Knowledge 16(2): 137-147. (in Persian).
37. Shaeban, M., Mansorifar, S., Ghobadi, M., and Ashrafi Pavarchin, R. 2011. Effect of Drought Stress and Starter Nitrogen Fertilizer on Root Characteristics and Seed Yield of Four Chickpea (*Cicer arietinum* L.) Genotypes. Seed and Plant Production Journal 27(4): 451-470. (in Persian).

38. Shahhoseini, Z., Gholami, A., and Asghari, H. 2012. Effect of arbuscular mycorrhizae and humic acid on water use efficiency and physiological growth indices of maize under water deficit condition. Arid Biome Scientific and Research Journal 2 (1): 39-57. (in Persian with English abstract).
39. Sorkhi Lellahlo, F., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., and Javanshir, A. 2008. Evaluation of leaf characteristics and root to shoot ratio on the Interference of underground and Shoot organs in wheat (*Triticum aestivum*) and different density of wild oats (*Avena fatua*). Journal of Sciences and Technology of Agriculture and Natural Resources 45: 435-446. (in Persian).
40. Tilman, D. 1985. The resource-ratio hypothesis of plant succession. American Naturalist. 125: 827-852.
41. Tollenaar, M., Nissanka, S.P., Aguilera, A., Weise, S.F., and Swanton, C.J. 1994. Effect of weed interference and soil nitrogen on four maize hybrids. Agronomy Journal 86: 596-601.
42. Vafabakhsh, J., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., and Azizi, M. 2009. Effects of water deficit on water use efficiency and yield of Canola cultivars (*Brassica napus* L.). Iranian Journal of Field Crops Research 7(1): 280-292. (in Persian with English abstract).
43. Zand, A., Baghestani, M., and Shimi, P. 2013. Research Institute of Applied Entomology and Phytopathology. Weeds of wheat fields and their control in Iran. July 29, 2013. http://www.iranwheat.ir/introduction/weeds/weed/alaf.asp.
44. Zand, A., Rahimian Mashhadi, H., Koochaki, A., Mosavi, K., and Ramezani, K. 2004. Ecology of weeds (management applications). First Edition. Press University Jihad of Mashhad. Pp: 554. (in Persian).

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 15, No. 2, Summer. 2017, p. 438-450

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۵، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۶، ص. ۴۵۰-۴۳۸

Effect of Drought Stress on Water Use Efficiency and Root Dry Weight of Wheat (*Triticum aesativum* L.) and Rye (*Secale cereale* L.) in Competition Conditions

F. Golestani Far[1*]- S. Mahmoodi[2]- Gh. R. Zamani[2]- M. H. Sayyari Zahan[2]

Received: 25-01-2016
Accepted: 25-04-2016

Introduction: Deficiency of water during the plant growth is one of the main factors which reduce the crops production around the world. Drought stress is one of the most important tensions that may occur around the low rainfall, high temperature and wind blowing environments. Plant response to this stress depends on the stage of plant growth and drought intensity. Weeds are unwanted and harmful plants with disturbance in agricultural practices which make increase the cost of crop production and reduce the crop yields. Rye (*Secale cereal* L.) is one of the most important weeds at wheat fields in Iran (Baghestani and Atri, 2003). Low expectations, allelopathic effects and similarity of life cycle and morphology, caused increasing of rye density in winter wheat fields. Water use efficiency (WUE) as an important physiological characteristic indicates the ability of plants to water stress. WUE may be affected by climatic and soil or plant factors. In plant communities, competition is one of most important physiological topics (Evans *et al*, 2003). At Inter-specific competition, weeds interfere to absorbing of light, water and nutrients through the adjacency with crop and so affect the growth and yield of crops. Weeds often compete with crops for soil water and reduce the accessibility of water. Competition between weeds and crops decrease the soil moisture and cause water stress which might decrease the weeds and crops growth. When the supply of water is limited, water drainage overlap areas in soil profile could be occurred relatively fast at early of in the crop life cycle.

Materials and Methods: In order to study the effects of drought stress on water use efficiency and root dry weight of wheat (*Triticum aesativum* L.) and rye (*Secale cereale* L.) in competition conditions, a pot experiment was conducted in the greenhouse of Agriculture Faculty , University of Birjand in 2012. The experiment was arranged as factorial based on completely randomized design with three replications. The treatments were included four wheat density (0, 8, 16 and 24 plants per pot), four rye density (0, 2, 4 and 6 plants per pot) and two levels of drought stress (irrigation after depletion of 20 and 60 % of field capacity moisture).

Results and Discussion: The results showed that all interaction effects were significant ($P < 0.01$) on water use efficiency of wheat, but only the interaction effect between inter-species competition and drought stress was significant ($P < 0.01$) on water use efficiency of rye. Interaction effect between drought stress, wheat and rye density was significant ($P < 0.01$) on root dry weight of wheat. The results revealed that water use efficiency decreased 17 % in wheat and increased 34 % in rye by increasing of drought stress. The water use efficiency of wheat and rye increased 10.4 and 28.2 % under intra-species competition and decreased 57.4 and 81 % under inter-species competition, respectively. Drought stress did not affect root dry weight of wheat, but with increasing of rye and wheat density, root dry weight decreased 64.3 and 48.9 %, respectively. Also root dry weight of rye decreased 37.1, 47.4 and 33.6 % under drought stress conditions, inter and intra-species competition, respectively. Intra-specific competition decreased biological yield and water use efficiency through decreasing growth characters, yield and components yield of wheat. Increasing stress intensity reduced leaf photosynthesis and increased sugar requirements for cell osmotic adjustment, so availability of assimilates reduced and root growth stopped. In the other words, root dry mater of plants reduced in drought stress conditions.

Conclusions: The results of this study indicated that drought stress reduced root dry mater of rye and water use efficiency of wheat and rye. Increasing inter-specific competition between wheat and rye reduced water use efficiency and root dry matter in two plants, but increasing intra-specific competition increased the studied traits. Generally, because of the overlap area of root development in wheat and rye, and more extensive root system of

1- M.Sc. of Weed Science, Faculty of Agriculture, University of Birjand
2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, University of Birjand
(*- Corresponding Author Email: farzane.golestanifar@yahoo.com)

rye than the wheat, rye has higher competitive strength for water uptake.

Keywords: Additive series, Competition, Water deficit, Weeds