تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲، ص ۸۰-۶۵

مقاله پژوهشی

تأثیر کود نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف آب ارزن دانه‌ای (*Pennisetum miliaceum* L.) در شرایط تنش کم‌آبی

سید غلامرضا موسوی[1*]، منصور فاضلی رستم پور[2]، حامد جوادی[3]

۱- گروه زراعت، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران

۲- بخش زراعی و باغی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران

۳- گروه علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

* مسئول مکاتبه: s_reza1350@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۲/۰۶ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.329875.1193**

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر رژیم‌های آبیاری و مقادیر کود نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف آب ارزن آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند انجام شد. در این تحقیق رژیم آبیاری (۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان عامل اصلی و مقدار نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) به‌عنوان عامل فرعی بود. نتایج نشان داد که تنش کم‌آبی موجب کاهش ۲۹/۴ درصدی محتوی نسبی آب برگ شد. در شرایط آبیاری مطلوب با افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار شاخص کلروفیل، ارتفاع بوته، تعداد دانه در پانیکول، عملکرد دانه و کارایی مصرف آب دانه به‌طور معنی‌دار و به ترتیب ۳۲/۷، ۲۰/۴، ۲۳، ۳۵/۴ و ۲۷ درصد افزایش یافت. هم‌چنین در شرایط آبیاری مطلوب کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، تعداد پانیکول در مترمربع، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و کارایی مصرف آب زیست‌توده را به ترتیب ۹/۷، ۲۶/۸، ۲۶/۵ و ۱۲/۷ درصد نسبت به شاهد افزایش داد. در شرایط تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی با افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۵۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه، کارایی مصرف آب دانه و کارایی مصرف آب زیست‌توده به‌طور معنی‌دار و به ترتیب ۲۴/۹، ۱۷/۳ و ۷/۷ درصد افزایش یافت. به‌طورکلی نتایج نشان داد که جهت دست‌یابی به حداکثر عملکرد دانه با در نظر گرفتن کارایی مصرف آب می‌توان از تیمار آبیاری مطلوب و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در منطقه بیرجند استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: شاخص کلروفیل، عملکرد زیستی، محتوی آب نسبی برگ

مقدمه

ارزن‌ها جزء غلات دانه‌ریز محسوب می‌شوند و به خانواده گندمیان تعلق دارند. این گیاه به‌عنوان محصول علوفه‌ای و دانه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد که بیشتر محصول دانه‌ای آن از اهمیت خاصی برخوردار است و به مصرف تغذیه پرندگان، سایر حیوانات و انسان می‌رسد و در صنعت برای تهیه الکل به کار می‌رود (Emam, 2007). ارزن‌ها از نظر مسیر فتوسنتزی جزو گیاهان چهار کربنه بوده و کارایی آن‌ها تحت شرایطی مانند درجه حرارت بالا و کمبود آب به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از گیاهان سه کربنه است (Rashedmohasel *et al.*, 1997).

تنش کم‌آبی محدودکننده‌ترین عامل مؤثر در رشد و عملکرد گیاهان زراعی است. کاهش تورژسانس احتمالاً حساس‌ترین فرآیند به تنش خشکی است که کاهش سرعت نمو، رشد طولی ساقه، رشد برگ، شاخص سطح برگ و هم‌چنین کاهش قطر منفذ روزنه و عملکرد از آن ناشی می‌شود (Mishra and Singh, 2010; Farooq *et al.*, 2012; Rostamza *et al.*, 2011). نیتروژن نیز یکی از مهم‌ترین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است که نقش حیاتی و کلیدی در رشد و تولید محصول ایفا می‌کند، زیرا نیاز گیاهان به این عنصر بیش از تمام عناصر دیگر می‌باشد. نیتروژن یکی از عوامل مؤثر بر توسعه سطح برگ و به‌تبع آن توسعه سایه‌انداز گیاه است که با تأثیر بر اندازه و طول عمر هر برگ موجب افزایش شاخص سطح برگ می‌شود (Devnarain *et al.*, 2016; Rostamza *et al.*, 2011).

در تحقیقی که به منظور بررسی تأثیر رژیم‌های متفاوت آبیاری در ارزن دم‌روباهی انجام شد با افزایش دور آبیاری از ۷ به ۲۱ روز عملکرد دانه ۲۳/۷ درصد کاهش یافت (Hayati *et al.*, 2012). برخی محققان در خصوص سه گونه غلات و ارزن

مشاهده نمودند تنش کم‌آبی باعث کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Villegas *et al*., 2010; Patel *et al*., 2013). در بررسی تأثیر تنش کم‌آبی بر عملکرد دانه ارزن گزارش شد که با افزایش دور آبیاری از ۷ به ۱۴ و ۲۱ روز عملکرد دلنه به ترتیب ۲۸/۴ و ۴۴/۴ درصد کاهش یافت (Yousefi, 2013). نتایج تحقیقی نشان داد که تنش کم‌آبی اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت نداشت (Patel *et al*., 2013). در تحقیقی دیگر نیز به عدم تفاوت شاخص برداشت در سطوح مختلف آبیاری در سورگوم اشاره شد (Zand *et al*., 2014). محققان در بررسی تنش کم‌آبی (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی) گزارش کردند که تنش خشکی باعث کاهش تعداد خوشه در مترمربع، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و درنهایت عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب در ارزن شد (Davoodi *et al*., 2013). کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و عملکرد دانه ذرت نیز در شرایط تنش کم‌آبی گزارش شده است (Aydinsakir *et al*., 2013).

در تحقیقی گزارش شد که برای برداشت بالای زیست‌توده و رسیدن به عملکرد زیستی بیشتر، به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، نیازی به آبیاری کامل گیاه نیست و می‌توان از خشکی موضعی به‌عنوان کم‌آبی استفاده کرد (Rezaei *et al*., 2011). کاهش معنی‌دار کارایی مصرف آب برای تولید دانه را در شرایط کم‌آبی در سورگوم گزارش شده است (Benjamin *et al*., 2015). در تحقیقی که منظور بررسی تأثیر تنش کم‌آبی و کود نیتروژن بر عملکرد و کارایی مصرف آب سورگوم و ارزن علوفه‌ای انجام شد آبیاری کم تا حد اعمال تنش متوسط (تأمین ۶۷ درصد نیاز آبی) باعث افزایش معنی‌دار کارایی مصرف آب سورگوم و ارزن علوفه‌ای نسبت به تیمار بدون تنش و تنش شدید (تأمین ۳۳ درصد نیاز آبی) گردید (Moosavi *et al*., 2009).

با افزایش کاربرد نیتروژن از صفر به ۴۵ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار افزایش معنی‌داری در ارتفاع بوته و بیوماس ارزن مشاهده شد، اما بین مقادیر صفر و ۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار تفاوت آماری وجود نداشت (Shahin *et al*., 2013). محققان در بررسی مقادیر صفر، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سورگوم دانه‌ای گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل و کاربرد ۶۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد (Riahinia *et al*., 2013). در تحقیقی بر تأثیر مثبت کاربرد نیتروژن بر عملکرد زیستی ارزن اشاره شده است (Prasad *et al*., 2014). در تحقیقی که به منظور بررسی اثر کاربرد نیتروژن در سورگوم در مناطق نیمه‌خشک هند انجام شد با افزایش کاربرد نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، شاخص کلروفیل به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. هم‌چنین عملکرد دانه نیز در سال اول آزمایش از ۱/۳ به ۲/۶ و در سال دوم از ۱/۱ به ۳/۹ تن در هکتار افزایش یافت (Uchino *et al*., 2013).

نتایج بررسی اثر سطوح آبیاری، نیتروژن و تراکم بوته بر صفات فیزیولوژیکی و عملکرد ذرت نشان داد که با افزایش تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ، مقدار کلروفیل برگ بلال، طول دوره پر شدن مؤثر دلنه و عملکرد دلنه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. هم‌چنین با افزایش فواصل آبیاری تأثیر مثبت کاربرد نیتروژن بر افزایش غلظت کلروفیل به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت و با کاهش فراهمی آب در خاک، از تأثیر مثبت مصرف نیتروژن بر عملکرد دانه نیز کاسته شد (Lack, 2013). در تحقیقی گزارش شد که شاخص کلروفیل در طی مرحله پر شدن دلنه سورگوم در اثر کمبود نیتروژن به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (Yang *et al*., 2010). در تحقیقی که به منظور بررسی سطوح آبیاری پس از ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد تخلیه کل آب قابل‌دسترس خاک و مقادیر صفر، ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در ارزن انجام شد با افزایش تنش کم‌آبی از ۴۰ به ۱۰۰ درصد تخلیه رطوبت خاک، کارایی مصرف آب به‌طور معنی‌دار و به میزان ۲۱/۳ درصد افزایش یافت، اما بین سطوح آبیاری پس از ۸۰ و ۱۰۰ درصد تخلیه رطوبت خاک و نیز بین سطوح آبیاری پس از ۴۰ و ۶۰ درصد تخلیه رطوبت خاک تفاوتی مشاهده نشد. هم‌چنین بیشترین کارایی مصرف آب برای زیست‌توده به میزان ۴/۲ کیلوگرم بر مترمکعب از تیمار تنش شدید (آبیاری پس از ۱۰۰ درصد تخلیه رطوبت خاک) و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد (Rostamza *et al*., 2011).

با توجه به مطالب فوق این تحقیق با هدف بررسی تأثیر تنش کم‌آبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر اجزای عملکرد و عملکرد دانه و خصوصیات فیزیولوژیک ارزن معمولی در بیرجند انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی بیرجند واقع در کیلومتر ۵ جاده بیرجند – زاهدان با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ درجه شرقی و در ارتفاع ۱۴۹۱ متری از سطح دریا اجرا گردید. میانگین بلندمدت حداقل و حداکثر دما در بیرجند به ترتیب ۴/۶ و ۲۷/۵ درجه سلسیوس، میانگین بارندگی سالانه ۱۶۹ میلی‌متر و میانگین حداقل و حداکثر رطوبت نسبی به ترتیب ۲۳/۵ و ۵۹/۶ درصد است و اقلیم منطقه بیابانی گرم و خشک می‌باشد.

قبل از اجرای نقشه طرح به‌منظور تعیین ویژگی‌های خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری در چهار نقطه از خاک مزرعه محل انجام آزمایش نمونه‌برداری انجام شد و برای تعیین خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک به آزمایشگاه منتقل گردید. میانگین شاخص‌های آب و هوایی محل آزمایش در طی دوره رشد ارزن دانه‌ای در جدول ۱ نشان داده شده است. هم‌چنین، نتایج آنالیز خاک منطقه مورد آزمایش در جدول ۲ آمده است.

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمار دور آبیاری شامل دو رژیم آبیاری ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه به‌عنوان عامل اصلی و مقادیر نیتروژن شامل شاهد یا عدم مصرف کود، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص به‌صورت اوره به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. هر کرت فرعی شامل ۴ خط کاشت به طول ۵ متر و با فاصله ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله نهایی بوته روی ردیف ۳ سانتی‌متر (تراکم ۱۱۱ بوته در مترمربع) بود. فاصله بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر، بین کرت‌های فرعی ۰/۹ متر و بین بلوک‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج آزمون خاک، ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل و ۷۵ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم به‌صورت قبل از کاشت داخل زمین پخش و با خاک مخلوط شد. هم‌چنین کود نیتروژن از منبع اوره در دو مرحله نیمی پس از تنک نهایی بوته (چهار برگی) و نیمی در شروع خوشه‌دهی به‌صورت سرک استفاده شد. کاشت ارزن دانه‌ای در تاریخ اول خردادماه انجام شد. جهت کاشت از بذر ارزن دانه‌ای رقم پیشاهنگ که از نوع ارزن معمولی (*Pennisetum miliaceum*) بوده استفاده شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام گرفت. پس از استقرار کامل گیاه (مرحله چهار برگی)، جهت اعمال تیمارهای آبیاری اقدام شد. آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه (در تیمار آبیاری مطلوب، ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه و در تیمار کم‌آبیاری، ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) و با کنتور اندازه‌گیری و به زمین داده شد.

نیاز آبی به کمک روش FAO با استفاده از آمار تبخیر از تشتک کلاس A و با در نظر گرفتن کارایی ۸۰ درصد برای پخش آب در سطح کرت‌ها و بر اساس رابطه ۱و ۲ تعیین شد (Conover *et al*., 1989; Davoodi *et al*., 2013):

(۱) تبخیر از تشتک (میلی‌متر)× ضریب تشتک (۰/۷) = تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر)

(۲) تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر) ×ضریب گیاهی = تبخیر و تبخیر و تعرق گیاه

مقادیر آب مصرفی در دو تیمار آبیاری ۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در کل دوره رشد به ترتیب ۱۲۲/۹ و ۲۱۰/۳ لیتر در مترمربع بود. عملیات مبارزه با علف‌های هرز در دو مرحله با استفاده از نیروی کارگری و با دست انجام شد. در طول دوره رشد هیچ‌گونه آفت و بیماری خاصی مشاهده نشد.

جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، تعداد شش بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و میانگین آن‌ها ثبت شد. هم‌چنین جهت اندازه‌گیری شاخص کلروفیل در مرحله قبل از گل‌دهی، تعداد پنج بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر SPAD-502 (Minolta) در آخرین برگ توسعه‌یافته اندازه‌گیری انجام شد.

جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ در مرحله گل‌دهی و روز قبل از آبیاری و بین ساعت ۷ تا ۸ صبح جوان‌ترین برگ کامل شده در سه بوته از هر کرت وزن شد (Fresh weight). سپس به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار داده شده و وزن گردید (Turgid weight). در مرحله بعد به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۲ درجه سلسیوس در آون قرار گرفته و وزن شد (Dry weight) و محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه ۳ اندازه‌گیری شد (Munne-Bosch *et al*., 2007):

$$RWC = \frac{Fresh\ \ Weight - Dry\ \ Weight}{Turgid\ \ Weight - Dry\ \ Weight} \times 100 \qquad (۳)$$

برداشت مزرعه پنجم شهریور ۹۵ و زمانی صورت گرفت که

بوته‌ها زرد شده و حداقل ۸۰ درصد پانیکول‌ها رسیده بودند. هم‌چنین برای تعیین عملکرد دانه در واحد سطح در هر واحد آزمایشی، بوته‌های ۳ ردیف وسط هر کرت با رعایت اثر حاشیه‌ای از مساحت دو مترمربع میانی به‌صورت دستی برداشت و بذور بوجاری گردید و عملکرد دانه در واحد سطح بر اساس کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. برای اندازه‌گیری تعداد پانیکول در مترمربع، پانیکول‌های موجود در یک مترمربع میانی هر کرت شمارش شد و تعداد دانه در پانیکول نیز با بوجاری دانه‌های ۱۰ پانیکول برداشت شده از قسمت میانی هر کرت و شمارش آن‌ها با دستگاه بذرشمار تعیین گردید. عملکرد دانه نیز از بوجاری دانه‌های پانیکول‌های برداشت شده در یک مترمربع میانی هر کرت به دست آمد و جهت به دست آوردن وزن هزار دانه ارزن در هر کرت، از توده بذر خالص هر کرت یک نمونه هزارتایی بذر توسط دستگاه بذرشمار و توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد. عملکرد زیستی ارزن در واحد سطح نیز از حاصل جمع برگ و ساقه خشک شده (پس از قرار گرفتن در آون ۷۲ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۴۸ ساعت) و عملکرد دانه و کاه و کلش پانیکول هر کرت محاسبه گردید. شاخص برداشت نیز از تقسیم عملکرد دانه بر عملکرد زیستی و ضرب آن در عدد ۱۰۰ محاسبه گردید. کارایی مصرف آب برای تولید دانه و زیست‌توده نیز از رابطه ۴ و ۵ به دست آمد:

$$WUEs = \frac{YS}{Vw} \quad (۴)$$

$$WUEB = \frac{YB}{Vw} \quad (۵)$$

در این رابطه WUE_S و WUE_B به ترتیب کارایی مصرف آب بر اساس دانه و کارایی مصرف آب بر اساس بیوماس بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب، Y_s و Y_B به ترتیب عملکرد دانه و عملکرد زیست توده بر حسب کیلوگرم، V_W= میزان آب مصرف شده برحسب متر مکعب می‌باشد.

در پایان تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار آماری MSTAT-C انجام گردید و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد صورت گرفت.

جدول ۱- میانگین شاخص‌های آب و هوایی محل آزمایش در طی دوره رشد ارزن دانه‌ای

Table 1- Average climate indices of the site during the growing season of grain millet

ماه Month	میانگین حداقل دمای روزانه Average daily minimum temperature (˚C)	میانگین حداکثر دمای روزانه Average daily maximum temperature(˚C)	میانگین دمای روزانه Average daily temperature(˚C)	کل بارندگی Total rainfall (mm)	میانگین رطوبت روزانه Average daily humidity (%)	میانگین ساعت آفتابی Average hours of sunshine (hr)
خرداد May	16.8	34.4	25.6	0	24	375.2
تیر June	21.3	38.1	29.7	0.2	25	363.2
مرداد July	16.3	33.7	25.0	0	29	371.0
شهریور August	12.7	31.5	22.1	0	25	339.9
مهر September	10.5	30.3	20.4	0	32	296.4

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Physicochemical properties of the soil of experiment local

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی Electrical conductivity ($ds.m^{-1}$)	اسیدیته pH	مواد آلی Organic matter (%)	نیتروژن کل Total nitrogen (%)	فسفر Phosphor ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم Potassium ($mg\ kg^{-1}$)	آهن Iron ($mg\ kg^{-1}$)	مس Copper ($mg\ kg^{-1}$)	روی Zinc ($mg\ kg^{-1}$)
لوم Loam	3.97	8.12	0.39	0.022	2.5	190	6.52	0.78	0.91

نتایج و بحث

محتوی نسبی آب برگ

اثر آبیاری بر محتوی نسبی آب برگ در سطح آماری پنج درصد معنی‌داری بود اما اثر نیتروژن و اثرمتقابل آبیاری و نیتروژن بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). بررسی مقایسه میانگین‌های محتوی نسبی آب برگ تحت تأثیر سطوح آبیاری بیانگر آن است که محتوی نسبی آب برگ در شرایط آبیاری مطلوب به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که در تیمار آبیاری مطلوب، محتوی نسبی آب برگ نسبت به تنش کم‌آبی به میزان ۲۹/۴ درصد افزایش یافت. لازم به ذکر است که میانگین محتوی نسبی آب برگ در تیمار آبیاری مطلوب ۸۴/۵ درصد و در تیمار تنش کم‌آبی ۵۹/۷ درصد بود (جدول ۴). کاهش محتوی نسبی آب برگ با افزایش شدت تنش خشکی در سورگوم علوفه‌ای و ذرت نیز گزارش شده است (Fazeli Rostampour *et al*., 2013; Lack, 2013). بررسی‌ها نشان می‌دهد محتوای نسبی آب برگ رابطه نزدیکی با پتانسیل آب گیاه دارد و با کاهش پتانسیل آب خاک و در نتیجه محتوای نسبی آب برگ، هدایت روزنه‌ای کاهش‌یافته، دی‌اکسید کربن در دسترس گیاه محدود شده و در نتیجه میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد (Munne-Bosch *et al*., 2007).

شاخص کلروفیل

اثر آبیاری بر شاخص کلروفیل در سطح آماری پنج درصد و اثر نیتروژن و اثرمتقابل آن‌ها بر این صفت در سطح آماری یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۳). پاسخ شاخص کلروفیل به سطوح نیتروژن برای آبیاری مطلوب معنی‌دار نبوده و برای تنش کم‌آبی خطی بود (جدول ۵). بنابراین در شرایط تأمین آب مورد نیاز ارزن، در محدوده کاربرد صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، با افزایش کود نیتروژن شاخص کلروفیل به‌صورت خطی افزایش یافت. بررسی مقایسه میانگین‌های شاخص کلروفیل تحت تأثیر اثرمتقابل آبیاری و نیتروژن بیانگر آن است که در شرایط آبیاری مطلوب، افزایش مصرف نیتروژن شاخص کلروفیل را به‌طور معنی‌داری افزایش داد، به‌طوری‌که افزایش مصرف نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار این شاخص نسبت به تیمارهای عدم کاربرد و کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، به ترتیب از برتری معنی‌دار ۳۵/۲ و ۱۸/۲ درصدی برخوردار بود. با این وجود بین تیمارهای کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب، تفاوت آماری از نظر شاخص کلروفیل مشاهده نشد. هم‌چنین کاربرد مقادیر مختلف نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی نتوانست تفاوت آماری در این صفت نسبت به تیمار عدم کاربرد نیتروژن باعث شود (جدول ۶). احتمالاً عدم جذب مؤثر نیتروژن در شرایط کم‌آبی را می‌توان علت این امر دانست، چرا که به نظر می‌رسد جذب مناسب این عنصر غذایی در شرایط آبیاری مطلوب به علت نقش نیتروژن در تولید کلروفیل (Uchino *et al*., 2013) باعث افزایش معنی‌دار این صفت گردیده است و در مقابل کاهش جذب نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی و به موازات آن کاهش نیتروژن برگ‌ها، باعث ایجاد اختلال در فرآیند کلروفیل‌سازی و کاهش این شاخص در برگ‌های ارزن شده است. تأثیرگذاری بیشتر کاربرد کود نیتروژن بر میزان کلروفیل برگ در شرایط تأمین بیشتر آب قابل‌دسترس ریشه در شنبلیله نیز گزارش شده است (Shokhmgar *et al*., 2013). در آزمایش مشابهی در ذرت نیز گزارش شد که تنش خشکی از طریق ایجاد محدودیت در توانایی جذب نیتروژن توسط گیاه، موجب اختلال در فرآیند ساخت کلروفیل گردید (Sakinejad, 2003; Lack, 2013). کاهش در شاخص کلروفیل در تنش کم‌آبی علاوه بر کاهش در میزان سنتز، می‌تواند ناشی از تجزیه کلروفیل در اثر افزایش میزان کلروفیلاز، پراکسیداز و ترکیبات فنلی باشد (Antolin *et al*., 1995). بین شاخص کلروفیل و محتوی نسبی آب برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار r= ۰/۸۲ وجود داشت و با افزایش محتوی نسبی آب برگ، شاخص کلروفیل افزایش یافت (جدول ۷).

ارتفاع بوته

اثر آبیاری بر ارتفاع بوته در سطح احتمال پنج درصد و اثر نیتروژن و اثرمتقابل آبیاری و نیتروژن بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۳). پاسخ ارتفاع به سطوح نیتروژن برای آبیاری مطلوب درجه ۲ و برای تنش کم‌آبی خطی بود (جدول ۵). نتایج نشان داد که در شرایط تأمین آب مورد نیاز ارزن، در محدوده کاربرد صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، با افزایش کود نیتروژن ارتفاع بوته به‌صورت خطی افزایش یافت. اما در شرایط تنش کم‌آبی، با

افزایش مصـــرف کود نیتروژن، به‌تدریج ارتفاع ارزن به‌صـــورت غیرخطی کاهش یافت.

مقایســـه میانگین‌های ارتفاع بوته تحت تأثیر اثرمتقابل آبیاری و نیتروژن نشـــان داد که در شـــرایط آبیاری مطلوب، افزایش مصرف نیتروژن ارتفاع ارزن را به‌طور معنی‌داری افزایش داد، به‌طوری‌که بیشترین ارتفاع بوته با میانگین ۶۶/۲ سانتی‌متر از تیمار آبیاری مطلوب و مصـــرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد که نسبت به تیمارهای عدم کاربرد و کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شـــرایط آبیاری مطلوب، از برتری معنی‌دار به ترتیب ۲۷/۲ و ۱۱/۳ درصـــدی برخوردار بود. با این وجود کاربرد نیتروژن در شـــرایط تنش کم‌آبی نتوانســـت تفاوت آماری در این صـــفت را باعث شـــود (جدول ۶). به نظر می‌رســـد لازمه جذب و تأثیرگذاری نیتروژن به‌عنوان مهم‌ترین عنصـر غذایی برای گیاهان وجود رطوبت کافی در محیط ریشـه گیاه می‌باشـد (Lack, 2013) و در این شـرایط (وجود رطوبت کافی)، مصرف نیتروژن با افزایش سرعت فتوسنتز و تولید شیره پرورده در گیاه، رشد رویشی آن را تحریک می‌کند (Riahinia *et al*., 2013) و از این‌رو سـبب افزایش ارتفاع بوته می‌شـود. به عبارتی در شـــرایط آبیاری مطلوب به علت وجود پتانســـیل آبی مناسـب در سـلول‌های گیاهی و فعال‌تر بودن تقسـیم سـلولی از یک‌ســـو و امکان جذب نیتروژن و توســـعه برگ‌ها و در نتیجه فتوســـنتز مؤثر (منبع قوی‌تر) از ســـوی دیگر شـــرایط لازم برای افزایش ارتفاع بوته فراهم شـده اسـت. این در حالی اسـت که در شـــرایط وجود تنش کم‌آبی علی‌رغم کاربرد نیتروژن به علت اختلال در جذب کافی این عنصـــر توســـط ریشـــه گیاه، کاهش پتانسیل فشاری سلول‌ها و عدم توسعه برگ‌ها، توان فتوسنتزی گیاه محدود شـده و درنهایت امکان دسـت‌یابی گیاه به پتانسـیل ژنتیکی از نظر افزایش ارتفاع بوته فراهم نشده است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات ارزن دانه‌ای رقم پیشاهنگ تحت تأثیر رژیم آبیاری و نیتروژن

Table 3- Results of analysis of variance (average of squares) for grain millet traits (Var. Pishahang) as affected by irrigation regim and nitrogen

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	محتوی نسبی آب برگ Relative water content	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	ارتفاع بوته Plant height	تعداد پانیکول در مترمربع Panicle number per m²	تعداد دانه در پانیکول Seed number per panicle	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد زیستی Biological yield	کارایی مصرف آب دانه Water use efficiency for seed	کارایی مصرف آب زیست‌توده Water use efficiency for biomass
تکرار Replication	2	45.54^{ns}	39.96^{ns}	26.96^{ns}	332.67^{ns}	875.7^{ns}	0.43^{ns}	273129^{ns}	252919^{ns}	0.07^{ns}	0.07^{ns}
دور آبیاری (A) Irrigation regim (A)	1	3700.17*	1703.64*	1278.96*	44032.67**	25540.69**	13.51*	16938365*	45606294**	1.77*	0.03^{ns}
خطای اول E_a	2	68.79	26.86	22.24	354.67	69.45	0.18	214190	189727	0.04	0.049
نیتروژن (B) Nitrogen (B)	3	0.44^{ns}	25.41**	57.82**	4093.06**	1605.08**	0.91**	233917**	1172274**	0.07**	0.34**
دور آبیاری × نیتروژن A× B	3	1.5^{ns}	32.28**	74.22**	77.56*	111.3*	0.22**	80406**	485165*	0.01*	0.17*
خطای دوم E_b	12	15.56	2.5	9.05	20.06	28.11	0.015	9927	122266	0.002	0.037
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.5	6.32	9.7	11.01	15.3	6.64	16.24	16.96	15.62	11.42

*، ** و ^{ns} به ترتیب مفهوم معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد

*, ** and ^{ns} show significance at 5 and 1% level and non-significance, respectively

بین ارتفاع بوته با محتوی نســـبی آب برگ و شـــاخص کلروفیل، به ترتیب همبســـتگی مثبت و معنی‌دار $r= ۰/۷^{**}$ و $r= ۰/۹۱^{**}$ وجود داشـت و با کاهش محتوی نسـبی آب برگ و شـاخص کلروفیل، ارتفاع کاهش یافت (جدول ۷). از آنجایی که

همبستگی مثبتی بین کلروفیل‌سازی و محتوای نسبی آب برگ گزارش شده است (Bahrani and Habili, 1991) و در شرایط تنش کم‌آبی از محتوای نسبی آب برگ به میزان زیادی کاسته می‌شود (Lack, 2013)، می‌توان کاهش قابل ملاحظه شاخص کلروفیل برگ و در نتیجه فتوسنتز را در شرایط کمبود آب و در نتیجه کاهش ارتفاع گیاه را توجیه نمود.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر محتوی نسبی آب برگ ارزن دانه‌ای

Table 4- Comparison of the average effect of irrigation on the relative water content of grain millet

سطوح آبیاری Irrigation levels	محتوی نسبی آب برگ (%) content Relative water
آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) Full irrigation (100% water requirment)	84.5 a
تنش کم آبی (۵۰ درصد نیاز آبی) Water deficit stress (50% water requirment)	59.7 b

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (P ≤۰/۰۵).

In each column, with at least one similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test

جدول ۵- پارامترهای برآورد شده مدل‌های رگرسیونی برای برخی صفات مورد مطالعه تحت تأثیر رژیم آبیاری و نیتروژن در ارزن دانه‌ای

Table 5- Estimated parameters of regression models for some of study traits of millet under irrigation and nitrogen regime

متغیر وابسته Dependent variable	تیمار Treatment		مدل Model	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	X_0	R^2	سطح معنی‌داری مدل Model significance
	آبیاری Irrigation regim	نیتروژن Nitrogen (kg ha^{-1})						
ارتفاع Plant height	50	همه سطوح All levels	Q	-	0.00005	45.08	0.98	<0.01
	100		L	0.09	-	53.3	0.99	<0.01
شاخص کلروفیل Chlorophyll index	50	همه سطوح All levels	-	-	-	-	-	n.s
	100		L	0.07	-	28.47	0.93	<0.01
عملکرد زیستی Biological yield	50	همه سطوح All levels	-	-	-	-	-	n.s
	100		Q	2.96	-0.01	538.7	0.98	<0.01
وزن هزار دانه 1000-seed weight	50	همه سطوح All levels	-	-	-	-	-	ns
	100		L	0.008	-	3.67	0.91	<0.01
تعداد دانه در پانیکول Seed number per panicle	50	همه سطوح All levels	-	-	-	-	-	ns
	100		L	0.31	-	224. 3	0.91	<0.01
تعداد پانیکول در مترمربع Panicle number per m^2	50	همه سطوح All levels	-	-	-	-	-	ns
	100		Q	0.83	0.0026	193/58	0.97	<0.01
عملکرد دانه Seed yield	50	همه سطوح All levels	L	0.12	-	66.61	0.93	<0.01
	100		L	0.47	-	208.73	0.91	<0.01
کارایی مصرف آب دانه Water use efficiency for seed	50	همه سطوح All levels	L	0.001	-	0.54	-	n.s
	100		L	0.002	-	0.99	0.93	<0.01
کارایی مصرف آب زیست‌توده Water use efficiency for biomass	50	همه سطوح All levels	L	0.002	-	2.83	0.97	<0.01
	100		Q	0.01	0.00007	2.57	0.98	<0.01

L: مدل رگرسیونی خطی (Linear)، Q: مدل رگرسیونی درجه ۲ (Quadratic).

L: Linear regression model, Q: 2nd degree regression model (Quadratic).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرمتقابل آبیاری و نیتروژن بر برخی صفات زراعی مورد مطالعه ارزن دانه‌ای

Table 6- Comparison of the mean interaction of irrigation and nitrogen on some agronomic traits of studied millet

تیمار Treatment		شاخص کلروفیل Chlorophyll index	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد پانیکول در مترمربع Panicle number per m^2	تعداد دانه در پانیکول Seed number per panicle	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg ha^{-1})	عملکرد زیستی Biological yield (kg ha^{-1})	کارایی مصرف آب دانه Water use efficiency for seed (kg m^{-3})	کارایی مصرف آب زیست‌توده Water use efficiency for biomass (kg m^{-3})
سطوح آبیاری Irrigation levels	نیتروژن Nitrogen (kg ha^{-1})									
آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) Full irrigation (100% water requirment)	0	28.1 c	53.2 c	230.2 b	215.4 b	4.0 c	2024 c	5504 b	1.00 c	2.68 b
	50	33.1 b	61.2 b	250.1 a	210.2 b	4.6 a	2486 b	6785 a	1.20 b	3.24 a
	100	37.3 a	64.1 ab	242.3 ab	265.0 a	4.4 b	2741 a	6790 a	1.27 a	3.23 a
	150	38.4 a	66.2 a	243.0 ab	270.5 a	4.0 c	2753 a	6798 a	1.29 a	3.24 a
تنش کم آبی (۵۰ درصد نیاز آبی) Water deficit stress (50% water requirment)	0	16.1 d	47.5 cd	160.1 c	178.1 c	3.3 d	643 e	3409 c	0.53 f	2.78 b
	50	16.2 d	45.2 d	160.3 c	177.2 c	3.2 d	685 de	3410 c	0.56 d	3.21 a
	100	16.1 d	43.5 d	160.4 c	177.3 c	3.3 d	733 d	3405 c	0.56 d	3.22 a
	150	16.0 d	42.1 d	160.1 c	178.5 c	3.1 d	751 d	3403 c	0.57 d	3.23 a

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند ($P \leq ۰/۰۵$).

In each column, with at least one similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using Duncan's Multiple Range Test

جدول ۷- ضرایب همبستگی پیرسون صفات ارزن تحت تأثیر رژیم آبیاری و نیتروژن

Table 7- The Pearson correlation coefficient of millet traits as affected by irrigation regim and nitrogen

صفات Traits	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
۱- محتوی نسبی آب 1- Relative water content	1									
۲- ارتفاع بوته 2- Plant height	0.70**									
۳- شاخص کلروفیل 3- Chlorophyll index	0.82**	0.910**	1							
۴- کارایی مصرف آب زیست‌توده 4- Water use efficiency for biomass	0.47*	0.429*	0.315ns	1						
۵- عملکرد زیستی 5- Biological yield	0.85**	0.895**	0.921**	0.482*	1					
۶- کارایی مصرف آب دانه 6- Water use efficiency for seed	0.77**	0.873**	0.859**	0.433*	0.942**	1				
۷- عملکرد دانه 7- Seed yield	0.86**	0.882**	0.898**	0.340ns	0.962**	0.987**	1			
۸- وزن هزار دانه 8- 1000-seed weight	0.74**	0.908**	0.880**	0.535**	0.961**	0.976**	0.961**	1		
۹- تعداد دانه در پانیکول 9- Seed number per panicle	0.78**	0.843**	0.855**	0.412*	0.931**	0.970**	0.962**	0.953**	1	
۱۰- تعداد پانیکول در مترمربع 10- Panicle number per m^2	0.75**	0.887**	0.902**	0.472*	0.939**	0.938**	0.934**	0.961**	0.941**	1

*، ** و ns به ترتیب مفهوم معنی‌دار در سطح یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار می‌باشد

*, ** and ns show significance at 5 and 1% level and non-significance, respectively

اجزای عملکرد

اثر آبیاری و اثر نیتروژن بر تعداد پانیکول در مترمربع، تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین اثرمتقابل آبیاری و نیتروژن بر تعداد پانیکول در مترمربع و تعداد دانه در پانیکول در سطح احتمال پنج درصد و بر وزن هزار دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). پاسخ تعداد پانیکول در مترمربع به سطوح نیتروژن برای آبیاری مطلوب معنی‌دار نبوده و برای تنش کم‌آبی درجه ۲ بود (جدول ۵). این پاسخ نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب، با افزایش مصرف کود نیتروژن، به‌تدریج میزان افزایش تعداد پانیکول در مترمربع به‌صورت غیرخطی کاهش یافت. مقایسه میانگین‌های تعداد پانیکول در مترمربع تحت تأثیر اثرمتقابل آبیاری و نیتروژن نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب، افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۵۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد پانیکول در مترمربع را به‌طور معنی‌داری و به میزان ۹/۹ درصد افزایش داد. هم‌چنین بین تعداد پانیکول در مترمربع با ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل و محتوی نسبی آب برگ به ترتیب همبستگی معنی‌دار $r= ۰/۸۹^{**}$، $r= ۰/۹^{**}$ و $r=۰/۷۵^{**}$ وجود داشت (جدول ۷).

پاسخ تعداد دانه در پانیکول به سطوح نیتروژن برای آبیاری مطلوب معنی‌دار نبود و برای تنش کم‌آبی خطی بود (جدول ۸). این موضوع نشان داد که در شرایط تأمین آب مورد نیاز ارزن، در محدوده کاربرد صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، با افزایش کود نیتروژن تعداد دلنه در پانیکول به‌صورت خطی افزایش یافت. در شرایط آبیاری مطلوب، تعداد دانه در پانیکول با افزایش کاربرد نیتروژن تا ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمارهای عدم کاربرد و کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از برتری معنی‌دار به ترتیب ۲۳/۵ و ۳۰ درصدی برخوردار بود. با این وجود بین تیمارهای کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب تفاوت آماری در این صفت مشاهده نشد. هم‌چنین بین تعداد دلنه در پانیکول با تعداد پانیکول در مترمربع، ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل و محتوی نسبی آب برگ به ترتیب همبستگی معنی‌دار $r= ۰/۹۴^{**}$، $r= ۰/۸۹^{**}$، $r= ۰/۹^{**}$ و $r= ۰/۷۸^{**}$ وجود داشت (جدول ۷).

پاسخ وزن هزار دانه به سطوح نیتروژن برای آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی معنی‌دار نبوده و خطی بود (جدول ۵). بنابراین در شرایط تأمین آب مورد نیاز ارزن، در محدوده کاربرد صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، با افزایش کود نیتروژن وزن دانه به‌صورت خطی افزایش یافت. بیشترین وزن هزار دانه ارزن با میانگین ۴/۶ گرم از تیمار آبیاری مطلوب و کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد که از برتری معنی‌دار ۱۲/۷، ۶ و ۱۱/۴ درصدی به ترتیب نسبت به تیمارهای عدم کاربرد، کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب برخوردار بود. با این وجود بین تیمارهای کاربرد و عدم کاربرد نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی تفاوت آماری در مورد اجزای عملکرد مشاهده نشد (جدول ۶). عدم تأثیرگذاری کاربرد نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی را می‌توان به فراهم نبودن رطوبت کافی در اطراف ریشه ارزن و عدم جذب مؤثر نیتروژن مربوط دانست. هم‌چنین بین وزن هزار دانه با تعداد دانه در پانیکول، تعداد پانیکول در مترمربع، ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل و محتوی نسبی آب برگ به ترتیب همبستگی معنی‌دار $r= ۰/۹۵^{**}$، $r= ۰/۹۶^{**}$، $r= ۰/۹۱^{**}$، $r= ۰/۸۸^{**}$ و $r= ۰/۷۴^{**}$ وجود داشت (جدول ۷). افزایش جذب نیتروژن مصرفی در شرایط آبیاری مطلوب و افزایش کلروفیل برگ (Lack, 2013) و سطح برگ فعال (Riahinia *et al*., 2013) باعث گردید تا گیاه از منبع قوی‌تر و توان فتوسنتزی بیشتری برخوردار شده و تأثیر مثبت کاربرد نیتروژن بر بخش زایشی گیاه (اجزای عملکرد) در این تحقیق مشاهده گردد. علت افزایش وزن هزار دلنه در شرایط آبیاری مطلوب و کاربرد ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن می‌تواند ناشی از کاهش تعداد دانه در پانیکول (جدول ۶) در این تیمار بوده که باعث شده است تا سهم بیشتری از مواد فتوسنتزی بوته به هر دانه اختصاص یابد.

عملکرد دانه

اثر آبیاری بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد و اثر نیتروژن و اثرمتقابل آن‌ها بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (جدول ۳). پاسخ عملکرد دانه به سطوح نیتروژن برای آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی خطی بود (جدول ۵). نتایج نشان داد که در محدوده کاربرد صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، با افزایش کود نیتروژن عملکرد دانه به‌صورت خطی افزایش یافت. هم‌چنین در شرایط آبیاری مطلوب، عملکرد دلنه با افزایش کاربرد نیتروژن تا ۱۰۰ کیلوگرم

در هکتار نسبت به تیمارهای عدم کاربرد و کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از برتری معنی‌دار به ترتیب ۳۰/۸ و ۱۰/۶ درصدی برخوردار بود. با این وجود بین تیمارهای کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب تفاوت آماری در این صفت مشاهده نشد. هم‌چنین در شرایط کمبود آب، افزایش کاربرد نیتروژن از صفر به ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار ۲۴/۹ درصدی عملکرد دانه شد و کمترین عملکرد دانه با میانگین ۶۴۳ کیلوگرم در هکتار از تیمار تنش کم‌آبی و عدم کاربرد نیتروژن به دست آمد (جدول ۶). بین عملکرد دانه با وزن هزار دانه، تعداد دانه در پانیکول، تعداد پانیکول در مترمربع، ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل و محتوی نسبی آب برگ به ترتیب همبستگی معنی‌دار $r= ۰/۹۶^{**}$، $r= ۰/۹۶^{**}$، $r= ۰/۹۳^{**}$، $r= ۰/۸۸^{**}$، $r= ۰/۹^{**}$ و $r= ۰/۸۶^{**}$ وجود داشت (جدول ۷). شواهد زیادی مبنی بر تأثیر مستقیم نیتروژن بر میزان فتوسنتز در واحد سطح برگ وجود دارد (Emam and Niknejad, 1994) و از این‌رو هر چه شرایط مناسب‌تری برای جذب نیتروژن توسط گیاه فراهم گردد، می‌توان انتظار فتوسنتز بیشتر و درنهایت عملکرد بیشتری را داشت. به نظر می‌رسد مهیا بودن رطوبت کافی در ناحیه ریشه ارزن در شرایط آبیاری مطلوب گیاه امکان جذب بیشتر نیتروژن را فراهم کرده و از آنجایی که نیتروژن از طریق افزایش شاخص سطح برگ و نیز افزایش دوام سطح برگ‌ها، افزایش فتوسنتز گیاه را باعث می‌شود و نیز طولانی شدن دوره پر شدن دانه را به دنبال دارد (Lack, 2013)، افزایش معنی‌دار عملکرد دانه با افزایش کاربرد نیتروژن قابل انتظار می‌باشد. به نظر می‌رسد که کاهش اجزای عملکرد در شرایط عدم مصرف نیتروژن باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به تیمارهای کاربرد نیتروژن در شرایط آبیاری مطلوب گیاه گردید. لازم به ذکر است که در همه سطوح نیتروژن مصرفی در شرایط تنش کم‌آبی کاهش قابل ملاحظه عملکرد دانه نسبت به شرایط آبیاری مطلوب مشاهده گردید (جدول ۶). احتمالاً تنش کم‌آبی از طریق کاهش سطح برگ و تعداد برگ‌های فعال، سطح جذب دی‌اکسیدکربن را کاهش می‌دهد (Golombek and Al-Ramamneh, 2002) و نتیجه آن را می‌توان کاهش توان فتوسنتزی و زایشی گیاه دانست که درنهایت منجر به کاهش عملکرد دانه می‌گردد. در تحقیقی کاهش عملکرد دانه ارزن در شرایط کم‌آبی به علت کاهش اجزای عملکرد (تعداد پانیکول در مترمربع، تعداد دانه در پانیکول و وزن هزار دانه) گزارش شده است (Davoodi *et al*., 2013). در تحقیقی تنش خشکی، دوره پر شدن دانه را در گندم کاهش داد که نتیجه این پیامد چروکیدگی دانه، کاهش وزن هزار دانه و در نتیجه کاهش عملکرد دانه بود (Samsipoor *et al*., 2010).

عملکرد زیستی

اثر آبیاری و اثر نیتروژن بر عملکرد زیستی در سطح احتمال یک درصد و اثرمتقابل آن‌ها بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). پاسخ عملکرد زیستی به سطوح نیتروژن برای آبیاری مطلوب معنی‌دار نبوده و برای تنش کم‌آبی درجه ۲ بود (جدول ۵). این پاسخ نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب، با افزایش مصرف کود نیتروژن، به‌تدریج میزان افزایش عملکرد زیستی به‌صورت غیرخطی کاهش یافت. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌گردد مقایسه میانگین‌های عملکرد زیستی تحت تأثیر اثرمتقابل آبیاری و نیتروژن نشان داد که هرچند در شرایط آبیاری مطلوب، افزایش مصرف نیتروژن از صفر به ۵۰ کیلوگرم در هکتار، عملکرد زیستی را به‌طور معنی‌داری و به میزان ۲۶/۸ درصد افزایش داد اما کاربرد مقادیر بیشتر تغییر معنی‌داری بر پتانسیل تولید ماده خشک در ارزن نداشت (مصرف تجملی). هم‌چنین بین سطوح مختلف نیتروژن در شرایط کم‌آبی از نظر عملکرد زیستی تفاوت آماری مشاهده نشد. بیشترین عملکرد زیستی با میانگین ۶۷۹۸ کیلوگرم در هکتار از تیمار آبیاری مطلوب و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و کمترین عملکرد زیستی با میانگین ۳۴۰۹ کیلوگرم در هکتار از تیمار تنش آبیاری و عدم کاربرد نیتروژن به دست آمد. به نظر می‌رسد به علت عدم جذب مؤثر نیتروژن در شرایط تنش کم‌آبی، کاربرد نیتروژن نتوانسته است تأثیر مثبتی بر افزایش تجمع ماده خشک ارزن داشته باشد اما در شرایط آبیاری مطلوب کاربرد نیتروژن تا ۵۰ کیلوگرم در هکتار احتمالاً به علت بهبود شاخص و دوام سطح برگ و در نتیجه افزایش سرعت رشد (Devnarain *et al*., 2016) نسبت به عدم مصرف کود، موجب افزایش تجمع ماده خشک در اندام‌های رویشی و افزایش تعداد پانیکول در مترمربع و وزن هزار دانه (جدول ۶) و در نتیجه عملکرد زیستی می‌گردد. با این وجود به نظر می‌رسد

که مصرف بیشتر نیتروژن نیز به علت سایه‌اندازی و افزایش تنفس نگهداری گیاه نتوانسته است افزایش معنی‌دار این صفت را در شرایط آبیاری مطلوب گیاه به دنبال داشته باشد (جدول ۶). کاهش ۲۰ و ۳۴ درصدی عملکرد زیست‌توده به ترتیب در شرایط آبیاری پس از ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر نسبت به آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر گزارش شده است (Jahanzand *et al.*, 2013). همچنین بین عملکرد زیستی با عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در پانیکول، تعداد پانیکول در مترمربع، ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل و محتوی نسبی آب برگ به ترتیب همبستگی معنی‌دار $r=$ ۰/۹۶**، $r=$ ۰/۹۶**، $r=$ ۰/۹۳**، $r=$ ۰/۹۴**، $r=$ ۰/۸۹**، $r=$ ۰/۹۲** و $r=$ ۰/۸۵** وجود داشت (جدول ۷).

کارایی مصرف آب

اثر آبیاری و اثرمتقابل آبیاری و نیتروژن بر کارایی مصرف آب دانه در سطح احتمال پنج درصد و اثر نیتروژن بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین اثر نیتروژن بر کارایی مصرف آب زیست‌توده در سطح احتمال یک درصد و اثرمتقابل آبیاری و نیتروژن در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود اما اثر آبیاری بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). پاسخ کارایی مصرف آب برای تولید دانه به سطوح نیتروژن برای آبیاری مطلوب خطی و برای تنش کم‌آبی نیز خطی بود (جدول ۵). نتایج نشان داد که در محدوده کاربرد صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، با افزایش کود نیتروژن کارایی مصرف آب برای تولید دانه به‌صورت خطی افزایش یافت. بر اساس مقایسه میانگین‌ها بیشترین کارایی مصرف آب برای تولید دانه با میانگین ۱/۲۹ کیلوگرم بر مترمکعب از تیمار آبیاری مطلوب و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد و تیمار تنش کم‌آبی و عدم کاربرد نیتروژن با تولید ۰/۹۶ کیلوگرم دانه به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، کمترین کارایی مصرف آب دانه را به خود اختصاص داد. هم‌چنین در شرایط آبیاری مطلوب، کارایی مصرف آب برای دانه با افزایش کاربرد نیتروژن تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نسبت به تیمارهای عدم کاربرد و کاربرد ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از برتری معنی‌دار به ترتیب ۳۱/۳ و ۱۰/۵ درصدی برخوردار بود. با این وجود بین تیمارهای کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب تفاوت آماری در این صفت مشاهده نشد. هم‌چنین در شرایط کمبود آب، افزایش کاربرد نیتروژن از صفر به ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار ۱۷/۳ درصدی کارایی مصرف آب برای تولید دانه شد اما بین سطوح کاربرد ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شرایط تنش کم‌آبی در این صفت تفاوت آماری مشاهده نشد (جدول ۶). بین کارایی مصرف آب دانه با عملکرد زیستی، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در پانیکول، تعداد پانیکول در مترمربع، ارتفاع بوته، شاخص کلروفیل و محتوی نسبی آب برگ به ترتیب همبستگی معنی‌دار $r=$ ۰/۹۴**، $r=$ ۰/۹۹**، $r=$ ۰/۹۸**، $r=$ ۰/۹۷**، $r=$ ۰/۹۴**، $r=$ ۰/۸۷**، $r=$ ۰/۸۶** و $r=$ ۰/۷۷** وجود داشت (جدول ۷).

پاسخ کارایی مصرف آب زیست‌توده به سطوح نیتروژن برای آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی، به ترتیب خطی و درجه ۲ بود (جدول ۵). بنابراین در شرایط تنش کمبود آب و در محدوده کاربرد صفر تا ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، با افزایش کود نیتروژن کارایی مصرف آب زیست‌توده ارزن به‌صورت خطی افزایش یافت. هم‌چنین در شرایط آبیاری مطلوب، با افزایش مصرف کود نیتروژن، به‌تدریج میزان افزایش کارایی مصرف آب زیست‌توده به‌صورت غیرخطی کاهش یافت. بیشترین کارایی مصرف آب برای تولید زیست‌توده با میانگین ۳/۲۴ کیلوگرم بر مترمکعب از تیمار آبیاری مطلوب و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد و تیمار تنش کم‌آبی و عدم کاربرد نیتروژن با تولید ۲/۷۸ کیلوگرم زیست‌توده به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، کمترین کارایی مصرف آب برای تولید زیست‌توده را به خود اختصاص داد. هم‌چنین در شرایط آبیاری مطلوب، با افزایش کاربرد نیتروژن از صفر به ۵۰ کیلوگرم در هکتار کارایی مصرف آب برای تولید زیست‌توده به‌طور معنی‌دار و ۲۶/۵ درصد افزایش یافت. هم‌چنین در شرایط کمبود آب، افزایش کاربرد نیتروژن از صفر به ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار ۷/۷ درصدی کارایی مصرف آب برای تولید زیست‌توده شد. با این وجود بین تیمارهای کاربرد ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی تفاوت آماری در این صفت مشاهده نشد (جدول ۶). هم‌چنین بین کارایی مصرف آب زیست‌توده با

کارایی مصرف آب دانه، عملکرد زیستی، وزن هزار دانه، تعداد دانه در پانیکول، تعداد پانیکول در مترمربع و ارتفاع بوته به ترتیب همبستگی معنی‌دار $r= ۰/۴۳^{*}$، $r= ۰/۴۸^{*}$، $r= ۰/۵۳^{*}$، $r= ۰/۴۱^{*}$، $r= ۰/۴۷^{*}$ و $r= ۰/۴۳^{*}$ وجود داشت (جدول ۷). افزایش کارایی مصرف آب برای تولید دانه و زیست‌توده با مصرف نیتروژن را چه در شرایط آبیاری مطلوب و چه در شرایط تنش کم‌آبی (نسبت به عدم مصرف نیتروژن)، می‌توان به برتری عملکرد دانه و زیست‌توده آن‌ها مربوط دانست. با این وجود باید توجه داشت که کاهش شدید عملکرد دانه در شرایط تنش کم‌آبی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب در سطوح مختلف نیتروژن (جدول ۶) باعث گردید که با وجود کاهش ۴۱/۶ درصدی آب مصرفی در تیمارهای تنش کم‌آبی، کارایی مصرف آب برای تولید دانه نیز به مقدار زیادی در تیمارهای تنش کاهش یابد (جدول ۶). این در حالی است که در مورد تولید ماده خشک به علت آن که کاهش عملکرد زیست‌توده و کاهش آب مصرفی در تیمارهای مختلف تنش کم‌آبی نسبتاً یکسان بوده است، بین تیمارهای مشابه نیتروژن در دو وضعیت آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی تفاوت آماری مشاهده نشد (جدول ۶).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که تنش کم‌آبی می‌تولند کاهش معنی‌دار عملکرد دلنه و کارایی مصرف آب برای تولید دانه را به دلیل اثر بازدارنده تنش بر رشد زایشی گیاه به دنبال داشته باشد. هم‌چنین کمبود نیتروژن (به‌عنوان یکی از ضروری‌ترین عناصر غذایی برای گیاه)، در شرایط وجود رطوبت کافی نقش مهمی در کاهش عملکرد و اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب دانه‌ای ایفا می‌کند. با این وجود در شرایط تنش کم‌آبی به علت اختلال در جذب مؤثر نیتروژن مصرفی، کاربرد این کود در بیشتر صفات تغییر معنی‌داری را به دنبال نداشته است. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش، جهت دست‌یابی به حداکثر عملکرد دانه با در نظر گرفتن کارایی مصرف آب می‌توان از تیمار آبیاری مطلوب و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در منطقه بیرجند استفاده نمود.

References

Antolin, M.C., Yoller, J. and Sancchez-Diaz, M. 1995. Effects of temporay drought on nitrate-fed and nitrogen-fixing alfalfa plants. *Plant Sciences*, 107: 156165.

Aydinsakir, K., Erdal, S., Buyuktas, Bastug, D. and Toker, R. 2013. The influence of regular deficit irrigation applications on water use, yield, and quality components of two corn (*Zea mays* L.) genotypes. *Agricultural Water Management*, 128: 65-71.

Bahrani, M.J. and Habili, N. 1991. Plant Physiology and Cells. Plublication of Shahid Ghamran Ahvaz University. 581 Pp. (In Persian).

Benjamin, J.G., Nielsen, D.C., Vigil, M.F., Mikha, M.M. and Calderon, F. 2015. Cumulative deficitirrigationeffectsoncornbiomassandgrainyield under twotillagesystems. *Agricultural Water Management*, 159: 107-114.

Conover, D.G. and Sovonick, S.A. 1989. Influence of water deficits on the water relations and growth of Echinochloa turneriana, *Echinochloa crus–gali* and *Pennisetum americanum*. *Australian Journal of Plant Physiology*, 16(3): 291-304.

Davoodi, N., Seghatoleslami, M.J., Moosavi, S.G. and Azari Nasrabad, A. 2013. The effect of foliar application of nano-zinc oxide on yield and water use efficiency of foxtail millet in drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 6(1): 37-46. (In Persian).

Devnarain, N., Crampton, B.G., Chikwamba, R., Becker, J.V.W. and O'Kennedy, M.M. 2016. Physiological

responses of selected African sorghum landraces to progressive water stress and re-watering. *South African Journal of Botany*, 103: 61-69.

Emam, Y. 2007. Cereal Production. 3rd edition. Shiraz University Press. 190 pp. (In Persian).

Emam, Y. and Niknejad, M. 2011. Introduction on Crop Physiology. Shiraz University Publication. 571Pp. (In Persian).

Farooq, M., Hussain, M., Wahid, A. and Siddique, K.H.M. 2012. Drought stress in plants: an overview. In: Aroca, R. (Ed.), and plant responses to drought stress: From morphological to molecular features. Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 1-37.

Fazeli Rostampour, M., Yarnia, M., Farokhzadeh Khoee, R., Seghatoleslami, M.J. and Moosavi, G.R. 2013. Physiological response of forage sorghum to polymer under water deficit conditions. *Agronomy Journal*, 105(4): 1-9.

Golombek, S. and Al-Ramamneh, E.A.D. 2002. Drought tolerance mechanisms of pearl millet. University of Kassel, Institute of Crop Science, Germany.

Hayati, A., Ramroudi, M. and Galavi, M. 2012. Effect of timing of potassium application on millet (*Setaria italica*) yield and grain protein content in different irrigation regimes. *Journal of Crop Production and Processing*, 1(2): 35-44. (In Persian).

Jahanzad, E., Jorat, M., Moghadam, H., Sadeghpour, A., Chaichi, M.R. and Dashtaki, M. 2013. Response of a new and a commonly grown forage sorghum cultivar to limited irrigation and planting density. *Agricultural Water Management*, 117: 62-69.

Lack, Sh. 2013. Evaluation of physiological traits effective on seed yield of corn in different irrigation, nitrogen and plant density levels. *Crop Physiology Journal*, 5(19): 17-33. (In Persian).

Mishra, A.K. and Singh, V.P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391: 202-216.

Moosavi, S.G., Mirhadi, M.G., Siadat, S.A., Noor Mohammadi, G.H. and Darvish F. 2009. Effect of water deficit and nitrogen fertilizer on yield and WUE of sorghum and millet forage. *Journal New Science Agriculture*, 5(15): 101-114. (In Persian).

Munne-Bosch, S., Penuelas, J. and Llusia, J. 2007. A deficiency in salicylic acid alters isoprenoid accumulation in water-stressed NahG transgenic Arabidopsis plants. *Plant Science*, 172: 756-762.

Patel, N.H., Patel, B.M., Patel, H.B. and Patel, P.M. 2013. Effect of irrigation and mulches on summer pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) under north Gujarat agro-climatic conditions. *AGRES–An International e-Journal*, 2(2): 246-249.

Prasad, S.K., Singh, M.K. and Singh, R. 2014. Effect of nitrogen and zinc fertilizer on pearl millet (*Pennisetum glaucum*) under agri-horti system of eastern Uttar Pradesh. *The Bioscan*, 9(1): 163-166.

Rashed Mohasel, M.H., Hosseyni, M., Abdi, M. and Molafilabi, A. 1997. Cereals Agronomy. Plublication of Daneshgahi Jahad of Mashhad. 406 Pp.

Rezaei, A., Bromand Nasab, S., Hoshmand, A. and Ghanjani, M.J. 2011. Effect of low irrigation and drought on morphological and physiological traits of corn. *Irrigation and Water Engineering*, 2(6): 67-75. (In Persian).

Riahinia, S.H., Khazaei, H.R., Kafi, M. and Nezami, A. 2013. Effects of water stress and soil nitrogen levels on some biochemical properties in grain sorghum cultivars under greenhouse conditions. *Journal Science and Technology of Greenhouse Culture*, 4(14): 61-71.

Rostamza, M., Chaichi, M.R., Jahansouz, M.R. and Alimadadi, A. 2011. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management*, 98: 1607-1614.

Sakinejad, T. 2003. Study of water stress on uptake of phosphorus, potassium and sodum in different growth stages in climatric conditions of Ahwaz. Ph.D Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Ahwaz. 288 Pp. (In Persian).

Shahin, M.G., Abdrabou, R.T., W.R. Abdelmoemn, W.R. and Hamada, M. 2013. Response of growth and forage yield of pearl millet (*Pennisetum galucum*) to nitrogen fertilization rates and cutting height. *Annals of Agricultural Science*, 58(2): 153-162.

Shamsipoor, M., Fetovat, R. and Jabari, F. 2010. Relation of between cholorophyl and seed yield of wheat under drought conditions. *Crop Physiology Journal*, 2(1): 21-30. (In Persian).

Shaw, B., Thomas, T.H. and Cooke, D.T. 2002. Responses of sugar beet to drought and nutrient deficiency stress. *Plant Growth Regulation*, 37: 77-83.

Shokhmgar, M., Baradaran, R., Mosavi, G., Poyan, M. and Arazmjoo, E. 2013. Effects of irrigation interval and nitrogen on seed yield and physiological characteristics of Fenugreek (*Trigonella foenum-gracum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 29(3): 527-538. (In Persian).

Uchino H., Watanabe, T., Ramu, K., Marmuthu, S., Hrawa, K.L., Wani, S.P. and Ito, O. 2013. Effects of nitrogen application on sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) in the semi-arid tropical zone of India. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 47(1): 65-73.

Villegas, D., Casadesu, J., Atienza, S.G., Martos, V., Maalouf, F., Karam, F., Aranjuelo, I. and Nogue, S. 2010. Tritordeum, wheat and triticale yield components under multi-local Mediterranean drought conditions. *Field Crops Research*, 116: 68-74.

Yang, Z., Van Oosterom, E.J., Jordan, D.R., Doherty, A. and Hammer, G.L. 2010. Genetic variation in potential kernel size affects kernel growth and yield of sorghum. *Crop Science*, 50: 685-695.

Yousefi, T. 2013. Effect irrigation and nitrogen on yield and agronomic traits of millet. M.Sc. Thesis of Azad University of Birjand, Iran. (In Persian).

Zand, N., Shakiba, M.R., Moghaddam-Vahed, M. and Dabbagh-Mohammadai-nasab, A. 2014. Response of sorghum to nitrogen fertilizer at different plant densities. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, 3(1): 71-74.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 1, Spring and Summer 2023, P. 65-80

Effect of nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency of grain millet (*Pennisetum miliaceum* L.) under water deficit stress

Seyyed Gholamreza Moosavi[1*], Mansour Fazeli Rostampor[2], Hamed Javadi[3]

[1]Department of Agronomy, Birjand Branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran
[2]Horticultural crops research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Zabol, Iran
[3]Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University (PNU), Iran
[*]Corresponding Author: s_reza1350@yahoo.com

Received: 15 February 2022 Accepted: 26 April 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.329875.1193**

Abstract

Introduction: Millet is one of the drought tolerant plants that nitrogen fertilizer plays an important role in its yield. Water deficit stress as the most important abiotic stress has very adverse effects on nutrient uptake, plant growth and yield. Iran is climatically regarded as an arid and semi-arid region in the world, where the lack of precipitation and its inappropriate distribution, high temperature and extensive evaporation makes the irrigation the main way for meeting plants water demand. Nitrogen is one of the effective factors on the development of the leaf surface and consequently the development of the shade of the plant, which improves the economic yield of the plant by increasing the leaf surface index, leaf area duration and photosynthesis. Therefore, this research was conducted in order to study the effect of irrigation regimes and nitrogen fertilizer rates on the yield and water use efficiency of millet.

Materials and Methods: This research as a split plot experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications in research farm of Birjand branch, Islamic Azad University, Birjand, Iran in 2016. In this experiment, irrigation regim (50 and 100 percent of water requirement) as main factor and nitrogen rate (0, 50, 100, 150 kg N ha^{-1}) as sub factor were considered. Each sub-plot consisted of 4 planting lines with a length of 5 meters and a row spacing of 30 cm and a plant spacing of 3 cm (density of 111 plants m^{-2}). Land preparation was done with moldboard in the early spring; the tillage operation included shallow plowing, double disc plow, and full leveling. Seed millet planting was done on June 1st. Millet seeds of Peshahang variety (*Pennisetum miliaceum*) were used for planting. The first irrigation was done immediately after planting. After the complete establishment of the plant (four-leaf stage), irrigation treatments were applied. The water requirement was determined with the help of the FAO method and using evaporation statistics from the class A pan. The amounts of water consumed in two irrigation treatments of 50 and 100 percent of the plant's water requirement in the entire growth period were 122.9 and 210.3 liters per m^2, respectively. Traits of plant height, chlorophyll index, relative water content, panicle number per m^2, number of seeds per panicle, 1000-seed weight, seed yield, biological yield, and water use efficiency for seed and biomass were measured. Finally, the data were analyzed by the software MSTAT-C for each trait, and the means were compared by the Duncan Multiple Range Test at the 5% level.

Results and Discussion: The results showed that water deficit stress reduced the relative leaf water content by 29.4%. Under optimal irrigation conditions with increasing nitrogen application from zero to 100 kg N ha^{-1} chlorophyll index, plant height, number of seeds per panicle, seed yield, and water use efficiency for seed significantly increased by 32.7, 20.4, 23, 35.4, and 27%, respectively. Also, in optimal irrigation conditions, the application of 50 kg N ha^{-1}, the number of panicles per m^2, the 1000-seed weight, the biological yield, and the water use efficiency of biomass increased by 9.7, 26.8, 26.5, and 12.7%, respectively. In conditions of supply of 50 percent of the water requirement with increasing nitrogen application from zero to 50 kg N ha^{-1} seed yield, water use efficiency of seed and biomass significantly increased by 24.9, 17.3, and 7.7%, respectively, compared to the control. In

general, the results showed that in order to achieve maximum seed yield by considering water use efficiency, optimal irrigation treatment and 100 kg N ha^{-1} in the Birjand region can be used.
Conclusion: In general, the results of this research showed that drought stress can lead to a significant decrease in seed yield and the efficiency of water consumption for seed production due to the inhibitory effect of stress on plant reproductive growth. Also, the lack of nitrogen (as one of the most essential nutrients for plants), in the presence of sufficient moisture, plays an important role in reducing yield and yield components and water use efficiency for seed production. However, in conditions of water deficit stress (supply percent of water requirement), due to the disturbance in the effective absorption of applied nitrogen, the use of this fertilizer did not result in significant changes in most of the traits. Based on the results of this research, in order to achieve the maximum seed yield, taking into account the efficiency of water consumption, the optimal irrigation treatment and application of 100 kg N ha^{-1} can be used in Birjand region.

Key words: Biological yield, Chlorophyll index, Relative leaf water content