

اثر محلول پاشی نانو اکسید روی بر عملکرد و راندمان مصرف آب ارزن دم روباهی در شرایط تنش خشکی

ناهد داودی^۱، محمد جواد ثقه الاسلامی^۲، سید غلامرضا موسوی^۳، علی آذری نصرآباد^۴

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد زراعت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند؛ ۲. دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند؛ ۳. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند؛ ۴. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی (دانشجوی دکتری زراعت دانشگاه زابل)

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۲۶

چکیده

با توجه به نقش عنصر روی در گیاه، وجود مقدار کافی از این عنصر در شرایط تنش کم آبی در تنظیم سازگاری به این تنش موثر است. از سوی دیگر اخیراً کاربرد نانو کودها به عنوان راهکاری در جهت کاهش مصرف مواد شیمیایی در سیستم‌های زراعی مطرح شده است. به منظور مقایسه اثر محلول پاشی اکسید روی معمولی و نانو بر عملکرد، اجزای عملکرد، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب ارزن دم روباهی در شرایط تنش خشکی، آزمایشی مزرعه‌ای به صورت طرح کرت‌های خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در تابستان ۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند به اجرا درآمد. فاکتورهای مورد آزمایش شامل تیمار آبیاری در دو سطح (۵۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) به عنوان کرت اصلی و تیمارهای محلول پاشی روی به صورت اکسید روی معمولی در سه سطح (۰/۳، ۰/۶ و ۱/۲ درصد) و نانو اکسید روی در سه سطح (۰/۱، ۰/۵ و ۰/۲۵ درصد) به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش تعداد خوشه در متر مربع، تعداد دانه در خوشه، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه، شاخص برداشت و کارایی مصرف آب گردید. مقایسات میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد دانه از طریق تیمار آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ نیاز آبی) با مصرف کود اکسید روی معمولی با غلظت ۰/۶ درصد حاصل شد، در حالی که اثر محلول پاشی با اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی بر هیچ یک از صفات معنی‌دار نبود.

واژه‌های کلیدی: تنش کم آبی، نانو کود، شاخص برداشت، نیاز آبی

مقدمه

ارزن علوفه‌ای نسبت به تیمار بدون تنش و تنش شدید (تامین ۳۳٪ نیاز آبی) گردید. یکی از راه‌های مقابله با تنش کم آبی، تغییر الگوی کاشت به سمت گیاهان سازگار به کم آبی است. ارزن‌ها در بین سایر گیاهان از مقاومت نسبی به خشکی برخوردارند، با این حال رشد و نمو این گیاهان نیز می‌تواند بر اثر کم آبی کاهش یابد.

گزارش شده تنش خشکی به طور معنی‌داری عملکرد دانه را در سه گونه ارزن دم روباهی، معمولی و مرواریدی کاهش داد. کاهش عملکرد عمدتاً از طریق کاهش تعداد خوشه در متر مربع و کاهش تعداد دانه در خوشه ایجاد گردید (Seghatoleslami et al., 2005). همچنین

کم آبیاری یکی از راهکارهای بهینه‌سازی مصرف آب است که طی آن به گیاه زراعی اجازه داده می‌شود مقداری تنش کم آبی را در طول فصل رشد تحمل نمایند. هدف اصلی در کم آبیاری، افزایش کارایی مصرف آب از طریق کاهش نیاز آبی و حذف آن بخش از آب آبیاری است که تأثیر معنی‌داری در افزایش عملکرد ندارد (Howell et al., 2004).

موسوی و همکاران (Mousavi et al., 2009) در بررسی تأثیر تنش کم آبی و کود نیتروژن بر عملکرد و راندمان مصرف آب سورگوم و ارزن علوفه‌ای اظهار داشتند که آبیاری کم تا حد اعمال تنش متوسط (تامین ۶۷٪ نیاز آبی) باعث افزایش معنی‌دار راندمان مصرف آب سورگوم و

شیمیایی و قابلیت نفوذ در غشای سلولی در این نانو ذرات پدیدار می‌گردد (Mazaherinia et al., 2010).
 معاونی و خیری (Moaveni and Kheiri, 2011) نشان دادند تاثیر ذرات نانو TiO_2 بر عملکرد ذرت قابل ملاحظه بود. در آزمایشی دیگر، ترکیبی از ذرات نانو SiO_2 و TiO_2 فعالیت نیتراژ رداکتاز را در سویا افزایش داد و توانایی جذب و استفاده از آب و کود را تشدید نمود (Lu et al., 2002). همچنین مظاهری نیا و همکاران (Mazaherinia et al., 2010) در آزمایشی گلخانه‌ای دریافتند که کاربرد پودر اکسید آهن نانو نسبت به اکسید آهن معمولی افزایش معنی‌داری در غلظت آهن گیاه، طول سنبله، ارتفاع گیاه، وزن دانه در سنبله، کل وزن خشک کاه و کlesh، وزن هزار دانه و وزن دانه در گلدان در گندم داشته است. ممکن است این افزایش به دلیل خاصیت نانو ذرات و حلالیت بیشتر آنها و سبک و کوچک بودن آنها و شانس برخورد بیشتر ریشه‌ها به ذرات نانو نسبت به ذرات اکسید آهن معمولی باشد. همچنین مشاهده شد که تیمار نانو نقره (۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) باعث افزایش درصد جوانه‌زنی، طول ساقچه‌چه و ریشه‌چه و در نهایت بهبود استقرار گندم گردید (Salehi and Tamaskoni, 2008).

با توجه به موارد فوق این آزمایش به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی اکسید روی (معمولی و نانو) بر عملکرد و اجزای عملکرد و کارایی مصرف آب ارزن دم روباهی در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان سال ۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بیرجند (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. ویژگی‌های خاک محل آزمایش در جدول ۱ آمده است.

طرح آزمایشی از نوع اسپلیت‌پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. هر تکرار شامل دو کرت اصلی به عنوان تیمارهای آبیاری بود که عبارت بود از (۱) آبیاری مطلوب بر اساس نیاز آبی تعیین شده برای گیاه در منطقه بیرجند؛ (۲) کم‌آبیاری که در آن ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در اختیار آن قرار داده شد. نیاز آبی به کمک روش

مسعود و اعظم علی (Maqsood and Azam Ali, 2007) گزارش کردند تنش آب عملکرد دانه و تعداد دانه در خوشه ارزن را کاهش داد.

یکی از اثرات تنش خشکی برهم زدن تعادل تغذیه‌ای در گیاه است. با تکمیل مصرف عناصر غذایی کم مصرف از طریق محلول‌پاشی، می‌توان وضعیت رشد گیاه را در شرایط تنش بهبود بخشید (Paygzar et al., 2009). وجود عنصر روی برای فعالیت‌های متابولیکی در گیاهان ضروری است (Hasegawa, 2008). اگرچه نیاز گیاهان به روی اندک است، ولی اگر مقدار کافی از این عنصر در دسترس نباشد، گیاهان از تنش‌های فیزیولوژیکی حاصل از ناکارایی سیستم‌های متعدد آنزیمی و دیگر اعمال متابولیکی مرتبط با روی رنج خواهند برد (Baybordi, 2006).

عنصر روی نقش مهمی در تنظیم میزان باز بودن روزنه‌ها دارد، به این دلیل که این عنصر در نگهداری عنصر پتاسیم در سلول‌های محافظ روزنه نقش دارد (Welch, 1995). کمبود آن می‌تواند باعث عدم توازن عناصر غذایی در گیاه شده و کاهش راندمان مصرف آب و در نهایت کاهش کیفیت و کمیت محصول را در پی داشته باشد (Jamali et al., 2011). نتایج تحقیقات پای‌گذار و همکاران (Paygzar et al., 2009) نشان داد که بالاترین میزان عملکرد علوفه تازه و علوفه خشک ارزن مرواریدی از تیمار عدم تنش (آبیاری مطلوب) همراه با محلول‌پاشی عناصر روی و منگنز حاصل شد.

به دلیل اثرات مضر که کودهای شیمیایی در محیط زیست و کیفیت غذا ایجاد می‌کنند، مدتهاست که استفاده از آنها مورد نکوهش قرار گرفته است. در نانوکودها به عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به تدریج و به صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند و در نتیجه از بروز پدیده مردابی شدن آب‌های ساکن و همچنین آلودگی آب آشامیدنی جلوگیری به عمل خواهد آمد. در حقیقت با بهره‌گیری از فناوری نانو در طراحی و ساخت نانوکودها، فرصت‌های جدیدی به منظور افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی و به حداقل رساندن هزینه‌های حفاظت از محیط زیست، پیش روی انسان گشوده شده است (Naderi and Abedi, 2012).

تبدیل مواد به مقیاس نانو، ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و فعالیت‌های کاتالیزوری آنها را تغییر می‌دهد. علاوه بر انحلال‌پذیری بیشتر، فعالیت‌های

آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه (در تیمار آبیاری مطلوب، ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه و در تیمار کم آبیاری، ۵۰٪ نیاز آبی گیاه) و با کنترل اندازه گیری و به زمین داده شد. مقادیر آب مصرفی (لیتر در متر مربع) در دو تیمار آبیاری در جدول ۲ آمده است. لازم به ذکر است که تیمار تنش پس از استقرار کامل گیاه اعمال شد.

FAO با استفاده از آمار تبخیر از تشتک کلاس A و با در نظر گرفتن راندمان ۸۰ درصد برای پخش آب در سطح کرت‌ها تعیین شد:

$$\text{تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلیمتر)} = \text{ضریب تشتک (۰/۷)} \times \text{تبخیر از تشتک (میلیمتر)} \quad [۱]$$

$$\text{تبخیر و تعرق گیاه (میلیمتر)} = \text{ضریب گیاهی} \times \text{تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلیمتر)} \quad [۲]$$

جدول ۱. نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

Table 1. The results of soil analysis

| اسیدیته | هدایت الکتریکی | سدیم | پتاسیم | کلر | منیزیم | شن | سیلت | رس | بافت خاک |
|-------------------|----------------|------|--------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| pH | EC | Na | K | Cl | Mg | Sand | Silt | Clay | Texture |
| | (ms/cm) | | (meq.lit ⁻¹) | | | (%) | | | |
| 8.07 | 2.97 | 16.3 | 0.3 | 17.1 | 5.4 | 40 | 50 | 10 | لومی |
| کربنات کلسیم | کربن آلی | گچ | روی | مس | کلسیم | آهن | پتاسیم | فسفر | نیتروژن |
| CaCO ₃ | OC | GYP | Zn | Cu | Ca | Fe | K _(ava) | P _(ava) | N _(Total) |
| (%) | (%) | | (mg.kg ⁻¹) | (mg.kg ⁻¹) | (meq.lit ⁻¹) | (mg.kg ⁻¹) | ppm | ppm | (%) |
| 16.2 | 0.13 | 10.9 | 0.51 | 0.44 | 7.5 | 2.23 | 185 | 3.17 | 0.019 |

جدول ۲. مقادیر آب مصرف شده در هر تیمار آبیاری

Table 2. Irrigation volume in different treatments

| Treatments | تیمار | دفعات آبیاری | مقدار آب مصرفی* (لیتر در متر مربع) |
|--------------------|-------------------|----------------------|---|
| | | Irrigation frequency | The amount of water used (litr.m ²) |
| Optimal irrigation | A1 (آبیاری مطلوب) | 13 | 639.9 |
| Drought stress | A2 (تنش خشکی) | 13 | 319.95 |

* مقدار آب مصرف شده، بدون در نظر گرفتن تعداد آبیاری اولیه می باشد.

*The amount of water consumed is regardless of the initial irrigation

(۷) محلول پاشی با نانو اکسید روی (با غلظت ۰/۱ درصد) (NZn3).

عمل محلول پاشی در دو مرحله (یک ماه پس از سبز شدن و مرحله ظهور گل آذین) با غلظت‌های مورد نظر انجام شده است. هر کرت فرعی شامل ۶ خط کشت ۶ متری با فاصله ۵۰ سانتیمتر بود. عمل کاشت در دو طرف پشته‌ها در تاریخ ۹ خرداد انجام شد. بذر مورد استفاده ارزن دم روباهی، رقم باستان بود. قبل از کاشت آزمون خاک انجام شده و بر اساس نتایج، کود کامل (شامل ازت و فسفر

هر کرت اصلی شامل ۷ کرت فرعی به عنوان تیمارهای محلول پاشی به این شرح بود: (۱) شاهد، بدون محلول پاشی (Zn0)؛ (۲) محلول پاشی با اکسید روی (با غلظت ۰/۳ درصد) (Zn1)؛ (۳) محلول پاشی با اکسید روی (با غلظت ۰/۶ درصد) (Zn2)؛ (۴) محلول پاشی با اکسید روی (با غلظت ۱/۲ درصد) (Zn3)؛ (۵) محلول پاشی با نانو اکسید روی (با غلظت ۰/۰۲۵ درصد) (NZn1)؛ (۶) محلول پاشی با نانو اکسید روی (با غلظت ۰/۰۵ درصد) (NZn2)؛

ترکیبی، گوگرد، پتاس، مواد آلی، سولفات منیزیم) به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و اوره در دو مرحله (هر مرحله ۵۰ کیلوگرم در هکتار) داده شد. کنترل علف‌های هرز در طول دوره رشد از طریق وجین دستی صورت گرفت. کود اوره به میزان لازم به صورت سرک در کلیه تیمارها، ۶۰ روز پس از کاشت به گیاه داده شد.

برداشت زمانی که خوشه‌ها کاملاً زرد رنگ شده بود، با حذف دو ردیف کناری و نیم متر ابتدا و انتهای ردیف‌ها به عنوان اثر حاشیه‌ای، انجام گرفت. برای محاسبه شاخص برداشت و کارایی مصرف آب از فرمول‌های ذیل استفاده گردید.

برداشت زمانی که خوشه‌ها کاملاً زرد رنگ شده بود، با حذف دو ردیف کناری و نیم متر ابتدا و انتهای ردیف‌ها به عنوان اثر حاشیه‌ای، انجام گرفت. برای محاسبه شاخص برداشت و کارایی مصرف آب از فرمول‌های ذیل استفاده گردید.

شاخص برداشت خوشه در بوته = (وزن خشک خوشه‌ها / عملکرد بیوماس) $\times 100$ [۳]

شاخص برداشت دانه در بوته = (عملکرد دانه / عملکرد بیوماس) $\times 100$ [۴]

شاخص برداشت دانه در خوشه = (عملکرد دانه / وزن خشک خوشه‌ها) $\times 100$ [۵]

کارایی مصرف آب (گرم دانه بر لیتر آب) = (عملکرد دانه / آب مصرف شده) $\times 100$ [۶]

کارایی مصرف آب (گرم بیوماس بر لیتر آب) = عملکرد بیوماس / آب مصرف شده [۷]

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار MSTATC استفاده شد.

نتایج و بحث

الف) عملکرد و اجزاء عملکرد

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان می‌دهد عملکرد دانه، تعداد خوشه در متر مربع، تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه به طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار آبیاری قرار گرفت، اما محلول‌پاشی اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی و اثرات متقابل آبیاری و کود بر هیچ یک از این صفات معنی‌دار نشد. عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهای محلول‌پاشی اکسید روی (معمولی و نانو) را می‌توان ناشی از نیاز کم ارزن به این عنصر و همچنین عدم تعادل عناصر غذایی در خاک و کمبود سایر عناصر غذایی که مانع از تأثیر مثبت روی مصرفی بر پارامترهای رشد گیاه شده باشد، دانست. با این وجود گزارشات متعددی در مورد اثر مثبت روی بر عملکرد گیاهان مختلف ارائه شده است (Grewal and Williams, 2000; Sheykhbaglo et al., 2009; Thaloorth et al.,

۲۰۰۳; Bukvic et al., 2006). همچنین گزارشی در خصوص افزایش عملکرد گیاهان مختلف در اثر مصرف نانو ذرات وجود دارد (Jaberzadeh et al., 2010; Feizi et al., 2010; Moaveni and Kheiri, 2011). کم آبیاری به طور معنی‌داری عملکرد دانه را کاهش داد. کاهش عملکرد عمدتاً از طریق کاهش تعداد خوشه در متر مربع و تعداد دانه در خوشه و وزن هزار دانه ایجاد شد (جدول ۴). کاهش عملکرد دانه بر اثر تنش خشکی در ارزن‌ها پیش از این نیز گزارش شده است (Seghatoleslami et al., 2008; Maqsood and Azam Ali, 2007). عملکرد بیوماس نیز اگر چه بر اثر تنش خشکی کاهش یافت اما این کاهش معنی‌دار نبود (جدول ۳). به نظر می‌رسد دلیل این امر حساسیت بیشتر ارزن به تنش خشکی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه باشد.

فتوسنتز کانوپی در طول دوره رشد زایشی یک عامل مهم در تعیین عملکرد است، هر گونه تنش در این مرحله اثر جدی بر عملکرد و مشخصاً بر تعداد بذر به عنوان جزء مهم عملکرد دارد. تنش در مرحله رویشی با کاهش سطح برگ و فتوسنتز به طور غیرمستقیم بر تعداد بذر و عملکرد مؤثر است، اما تنش در مرحله پر شدن دانه با کاهش طول دوره و اختلال در انتقال مواد به دانه و اثر بر وزن دانه به عنوان جزء دیگر عملکرد موجب کاهش عملکرد دانه می‌گردد (Alizadeh et al., 2007).

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد تنش خشکی تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد بر وزن هزار دانه داشت. وزن هزار دانه در تیمار ۱۰۰٪ نیاز آبی گیاه از تیمار ۵۰٪ نیاز آبی گیاه بیشتر بود (جدول ۴). نتایج برخی محققین در ذرت (Parvizi and Nabati, 2011; Jamali et al., 2004) و ارزن (Mahalakshmi and Bidinger, 1985) با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. گزارش شده است که بیشترین اثر تنش خشکی بر وزن هزاردانه، در طی پر شدن دانه دیده می‌شود. وقتی که گیاه در معرض تنش خشکی قرار می‌گیرد، برای این که از اثرات تنش خشکی فرار کند اقدام به کوتاه کردن چرخه زندگی خود می‌کند، بنابراین به دلیل کوتاه‌تر شدن طول دوره پر شدن دانه، وزن نهایی دانه‌ها کم می‌شود (Fredrick et al., 1990).

جدول ۳. منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات مربوط به عملکرد و اجزای عملکرد آرزن تحت تیمارهای آبیاری و کود روی
Table 3. Sources of variation, df and mean squares for yield and yield components of foxtail millet as affected by drought stress and Zn fertilizer

| S.O.V | منابع تغییر | درجه آزادی df | میانگین مربعات (Mean squares) | | | | |
|-------------------------|-------------------|---------------|-------------------------------|--------------------------------|---|---|-----------------------------------|
| | | | عملکرد دانه seed Yield | عملکرد بیوماس biomass Yield | تعداد خوشه در متر مربع ear number/m ² | تعداد دانه در خوشه Seed number per ear | وزن هزار دانه 1000 seed weight |
| replication | تکرار | 2 | 1272.354 | 127700.787 | 10347.167 | 1499.886 | 0.006 |
| Factor A (Irrigation) | فاکتور A (آبیاری) | 1 | 50571.365 * | 276908.248 ns | 218160.214 * | 25239.910 * | 3.259 ** |
| Error a | خطای اول | 2 | 1384.872 | 29744.392 | 13983.500 | 2273.271 | 0.019 |
| Factor B (Fertilizer) | فاکتور B (کود) | 6 | 61.821 ns | 4577.292 ns | 2189.437 ns | 298.023 ns | 0.009 ns |
| Irrigation × Fertilizer | آبیاری × کود | 6 | 61.783 ns | 4287.362 ns | 1199.881 ns | 268.229 ns | 0.021 ns |
| Error b | خطای دوم | 24 | 175.187 | 5103.071 | 1382.278 | 646.161 | 0.030 |
| CV(%) | ضریب تغییر پذیری | - | 26.22 | 21.04 | 22.16 | 26.26 | 6.33 |

ns, * and ** are non-significant, and significant at the 0.05 and 0.01 level of probability, respectively.

جدول ۴. اثر سطوح آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد آرزن
Table 4. Effect of irrigation levels on yield and yield components of millet

| Irrigation levels | سطوح آبیاری | عملکرد دانه | عملکرد بیوماس | تعداد خوشه | تعداد دانه | وزن هزار دانه |
|---|------------------------------|---|--|--|--------------------------------|-------------------------------|
| | | (گرم بر مترمربع) seed Yield (g.m ⁻²) | (گرم بر مترمربع) biomass Yield (g.m ⁻²) | در متر مربع ear number/m ² | در خوشه Seed number per ear | (گرم) 1000 seed weight (g) |
| Optimum irrigation (100% water requirement) | آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ نیاز آبی) | 85.187 ^a | 420.729 ^a | 239.810 ^a | 121.320 ^a | 3.020 ^a |
| Drought stress (50% water requirement) | تنش خشکی (۵۰٪ نیاز آبی) | 15.787 ^b | 258.333 ^a | 95.667 ^b | 72.291 ^b | 2.463 ^b |

*در هر ستون میانگین های دارای حروف مشترک از نظر آماری اختلاف معنی دار ندارند.
*Means with similar letters In each column are not significantly different.

ب) شاخص برداشت
شاخص برداشت بیانگر چگونگی تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام اقتصادی گیاه (دانه)، نسبت به کل مواد تولیدی ذخیره شده در گیاه است. از آنجایی که یکی از اجزای محاسبه شاخص برداشت عملکرد دانه است، تغییرات آن به

تنش خشکی در سطح پنج درصد، تأثیر معنی داری بر تعداد خوشه در متر مربع و تعداد دانه در خوشه داشت و باعث کاهش این صفات گردید، به طوری که در تیمار تنش نسبت به آبیاری مطلوب تعداد خوشه در مترمربع و تعداد دانه در خوشه به ترتیب ۶۰/۱ و ۴۰/۴ درصد کاهش یافت.

تیمار ۵۰٪ نیاز آبی بود (۰/۰۸۹ گرم دانه بر لیتر آب در مقایسه با ۰/۰۲۵ گرم دانه بر لیتر آب). با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها می‌توان استنباط نمود که تأثیر کم‌آبی بر تولید دانه بیشتر از تأثیر آن بر تولید بیوماس بوده است و به همین دلیل نیز کارایی مصرف آب برای عملکرد دانه بر اثر تنش خشکی (۵۰٪ نیاز آبی گیاه) کاهش یافت، زیرا میزان کاهش عملکرد دانه بر اثر تنش بیشتر از کاهش مصرف آب بوده است.

گزارش شده است که تأثیر تنش خشکی بر کارایی مصرف آب بسته به اینکه نوع گیاه، زمان و شدت تنش و یا اینکه عملکرد دانه یا بیوماس مد نظر باشد، متفاوت است (Seghatoleslami et al., 2008). ولسدآبادی (Valadabadi., 1999) برتری ارزن نوتریغید را نسبت به سورگوم اسپیدفید از نظر راندمان مصرف آب گزارش داده است. وی همچنین با توجه به میانگین راندمان مصرف آب در سطوح مختلف تنش نتیجه‌گیری نمود که در مقایسه با آبیاری مطلوب، کاهش متعادل آبیاری (اعمال تنش متوسط) می‌تواند منجر به بهبود راندمان مصرف آب گردد. اما اعمال تنش شدید تأثیر منفی در راندمان مصرف آب داشته و کاهش معنی‌دار آن را سبب می‌شود. این امر بیانگر آن است که اگر چه تنش رطوبت در خاک ممکن است از طریق انسداد روزنه‌ها، راندمان مصرف آب را افزایش دهد اما باید توجه داشت که تنش بیش از حد می‌تواند از طریق کاهش فتوسنتز و تولید ماده خشک تأثیر معکوس بر راندمان مصرف آب بگذارد. ثقه الاسلامی و همکاران (Seghatoleslami et al., 2008) گزارش کردند که اگر چه تنش خشکی باعث کاهش راندمان مصرف آب (WUE) ارزن معمولی شد، اما در گونه‌های دیگر (دم روباهی و مرواریدی) WUE را افزایش داد. آنها به طور کلی دریافتند که تنش آب اثر چندانی بر WUE ندارد. عدم تغییرات قابل ملاحظه در WUE تحت شرایط تنش آب نشان می‌دهد که کاهش عملکرد دانه با کاهش مصرف آب متناسب است.

نتایج پژوهش‌های محققین دیگر در ذرت (Alizadeh et al., 2007)، ارزن مرواریدی (Sasani et al., 2004) و در چچم، ارزن و دو گونه کلزای علوفه‌ای (Jacobs et al., 2004)، حاکی از افزایش بازده مصرف آب در نتیجه اعمال تنش خشکی است.

تغییرات عملکرد دانه وابستگی زیادی دارد (Alizadeh et al., 2007)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تنش خشکی به طور معنی‌داری سبب کاهش شاخص برداشت دانه در بوته شد (جدول ۵ و ۶). بررسی دو جزء شاخص برداشت دانه در بوته (شاخص برداشت خوشه در بوته و شاخص برداشت دانه در خوشه) نشان می‌دهد تنش خشکی بر تشکیل خوشه و دانه هر دو تأثیر گذاشته است، زیرا شاخص برداشت خوشه در بوته و دانه در خوشه هر دو بر اثر تنش خشکی کاهش یافته‌اند (جدول ۶). ثقه الاسلامی و همکاران (Seghatoleslami et al., 2008) اظهار کردند که شاخص برداشت ارزن بر اثر تنش خشکی به دلیل کاهش تعداد بذر در هر خوشه و کاهش تعداد بذر در هر گیاه کاهش پیدا کرد. یان جون و همکاران (Yan-Jun et al., 2006) گزارش کردند که در اثر تنش رطوبتی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گندم بهاره به طور معنی‌داری کاهش یافت.

رضایی سوخت آبندانی و رضانی (Rezaye Soukht Rezayeh et al., 2010) اظهار داشتند که کمبود آب از جمله عوامل محدود کننده رشد و نمو گیاه می‌باشد که علاوه بر کاهش ماده خشک تولیدی، موجب اختلال در تسهیم کربوهیدرات‌ها به دانه و در نتیجه کاهش شاخص برداشت می‌شود. پندی و همکاران (Pandey et al., 2000) نیز دلیل کاهش شاخص برداشت در شرایط تنش شدید خشکی را حساسیت بیشتر رشد زایشی نسبت به شرایط نامطلوب در مقایسه با رشد رویشی تشخیص دادند.

آنالیز داده‌ها نشان داد اثر محلول‌پاشی اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی بر شاخص برداشت معنی‌داری نبود. با توجه به اینکه محلول‌پاشی اکسید روی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و بیوماس نداشته است، بدیهی است اثر آن بر شاخص برداشت نیز معنی‌دار نباشد.

ج) کارایی مصرف آب

تنش خشکی تأثیر معنی‌داری در سطح پنج درصد بر کارایی مصرف آب دانه داشت، اما تأثیر آن بر کارایی مصرف آب بیوماس معنی‌دار نبود (جدول ۵). این امر به دلیل تأثیر متفاوت تنش خشکی بر عملکرد دانه و بیوماس بوده است. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد کارایی مصرف آب دانه در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی بیشتر از

اثر محلول پاشی اکسید روی (معمولی و نانو) و اثرات متقابل آبیاری و محلول پاشی اکسید روی بر کار آبی مصرف آب (WUE) معنی دار نبود (جدول ۵).

جدول ۵. منابع تغییر، درجه آزادی و میانگین مربعات مربوط به شاخص برداشت و کارایی مصرف آب ارزن تحت تیمارهای آبیاری و کود

روی

Table 5. Sources of variation, df and mean squares for harvest index and water use efficiency of foxtail millet as affected by drought stress and Zn fertilizer

| منابع تغییر S.O.V | df | میانگین مربعات (Mean squares) | | | | |
|--|----|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---|--|
| | | شاخص برداشت خوشه دربوته | شاخص برداشت دانه درخوشه | شاخص برداشت دانه دربوته | کارایی مصرف آب دانه water use efficiency for seed | کارایی مصرف آب بیوماس water use efficiency for biomass |
| | | harvest index of ear per plant | harvest index of seed per ear | harvest index of seed per plant | | |
| تکرار replication | 2 | 280.415 | 146.087 | 113.740 | 0.001 | 0.192 |
| فاکتور A (آبیاری) Factor A (Irrigation) | 1 | 3179.181 * | 6201.836 ** | 2359.633 * | 0.044* | 0.011 ns |
| خطای اول Error a | 2 | 180.249 | 13.885 | 81.308 | 0.002 | 0.029 |
| فاکتور B (کود) Factor B (Fertilizer) | 6 | 9.003 ns | 45.301 ns | 7.763 ns | 0.000 ns | 0.008 ns |
| آبیاری × کود Irrigation × Fertilizer | 6 | 40.225 ns | 87.400 ns | 5.407 ns | 0.0003 ns | 0.007 ns |
| خطای دوم Error b | 24 | 57.377 | 137.460 | 19.941 | 0.005 | 0.008 |
| ضریب تغییر پذیری CV(%) | - | 27.50 | 24.46 | 31.69 | 25.10 | 20.36 |

ns, * و ** به ترتیب نشانگر عدم معنی داری و معنی داری اثر عامل آزمایشی در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می باشند.
ns, * and ** are non-significant, and significant at the 0.05 and 0.01 level of probability, respectively.

جدول ۶. اثر سطوح آبیاری بر شاخص برداشت و راندمان مصرف آب ارزن

Table 6. Effect of irrigation levels on harvest index and water use efficiency of millet

| سطوح آبیاری Irrigation levels | شاخص برداشت خوشه دربوته harvest index of ear per plant (%) | شاخص برداشت دانه درخوشه harvest index of seed per ear (%) | شاخص برداشت دانه دربوته harvest index of seed per plant (%) | کارایی مصرف آب دانه water use efficiency for seed (g.li ⁻¹) | کارایی مصرف آب بیوماس water use efficiency for biomass (g.li ⁻¹) |
|--|--|---|---|---|--|
| آبیاری مطلوب (۱۰۰٪ نیاز آبی) Optimum irrigation (100% water requirement) | 36.242 ^a | 60.076 ^a | 21.586 ^a | 0.089 ^a | 0.442 ^a |
| تنش خشکی (۵۰٪ نیاز آبی) Drought stress (50% water requirement) | 18.841 ^b | 35.773 ^b | 6.595 ^b | 0.025 ^b | 0.409 ^a |

* در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک از نظر آماری اختلاف معنی دار ندارند.

* Means with similar letters In each column are not significantly different.

نتیجه کلی:

تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیوماس نداشت، بنابراین کارایی مصرف آب بیوماس را نیز تحت تأثیر قرار نداد. عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهای محلول‌پاشی اکسید روی معمولی و نانو اکسید روی می‌تواند ناشی از نیاز کم ارزن به این عنصر باشد. همچنین احتمال دارد عدم تعادل عناصر غذایی در خاک و کمبود سایر عناصر غذایی مانع از تأثیر مثبت روی مصرفی بر پارامترهای رشد گیاه شده باشد.

به طور کلی نتایج نشان داد که تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد و شاخص برداشت ارزن تأثیر معنی‌داری داشت و از طریق محدود کردن فتوسنتز ناشی از بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تولید ماده خشک سبب کاهش عملکرد دانه گردید. علی‌رغم این که تنش خشکی کارایی مصرف آب دانه رابه طور معنی‌داری کاهش داد، اما چون

منابع

- Alizadeh, O., Majidi, I., Nadian, H., Nour- Mohammadi, G., Amerian, M., 2007. Effect of water stress and nitrogen rates on yield and components of Maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Sciences, Islamic Azad University*. 13(2), 427-434. [In Persian with English Summary].
- Baybordi, A., 2006. Zinc in soils and crop nutrition. Parivar Press. First Edition. 179p. [In Persian].
- Bukvic, G., Antunovic, M., Popovic, S., Rastija, M., 2003. Effect of P and Zn fertilization on biomass yield and its uptake by maize lines (*Zea mays* L.). *Plant Soil Environ*. 49, 505-510.
- Fatemi, R., Kahrarian, B., Ghnbary, A., Valizadeh, M., 2006. The Evaluation of Different Irrigation Regims and Water Requirement on Yield and Yield Components of Corn. *Journal of Agricultural Sciences, Islamic Azad University*. 12(1), 133-141. [In Persian with English Summary].
- Feizi, H., Berahmand, A., Rezvani Moghaddam, P., fotovvat, A., Tahmasbi, N., 2010. Application Magnetic Field and Silver Nano Particles in growth and yield of maize. National Conference on Nano Science & Nano Technology, Payam noor University of Yazd. P: 1694-1697. [In Persian with English Summary].
- Fredrick, J.R., Below, F.E., Hesketh, J.D., 1990. Carbohydrate, nitrogen and dry matter accumulation and partitioning of maize hybrids under drought stress. *Ann. Bot*. 66, 407-415.
- Grewal, H.S., Wiliams, R., 2000. Zinc nutrition affects alfalfa response to water stress and excessive moisture. *J. Plant Nutr*. 23, 942-962.
- Hasegawa, R.H., Fonseca, H., Fancelli, A.L., Dasilva, V.N., Schammass. E.A., Reis, T.A., Correa, B., 2008. Influence of macro-and micro nutrient fertilization on fungal contamination and fumonisin production in corn grains. *Food Control*. 19, 36-43.
- Howell, T. A., Evett, S.R., Tolck, J.A., Schneider, A.D., 2004. Evaporation of full and deficit-irrigated, and dry land cotton on the Northern Texas High Plains. *J. Irrig. Drain*. 130(4), 277-285.
- Jaberzadeh, A., Moaveni, P., Tohidi Moghadam, H.R., Moradi, A. 2010. Effect of TiO₂ Nanoparticles Spraying on Agronomic characteristics of Wheat under condition drought stress. *J. Crop Ecophys*. 2(4), 295-301. [In Persian with English Summary].
- Jacobs, J., Ward, G., McKenzie, F., 2004. Effects of irrigation strategies on dry matter yields and water use efficiency of a range of forage species. Available at: <http://www.cropsscience.org.au/icsc2004/poster/1/5/533>.
- Lu, C.M., Zhang, C.Y., Wu, J.Q., Tao, M.X., 2002. Research of the effect of nanometer on germination and growth enhancement of *Glycine max* and its mechanism. *Soybean Sci*. 21, 168-172.

- Mahalakshmi, V., Bidinger, F.R., 1985. Flowering response of Pearl millet to water stress during panicle development. *Ann. Appl. Biol.* 106, 571-578.
- Maqsood, M., Azam Ali, S.N., 2007. Effects of environmental stress on growth, radiation use efficiency and yield of finger millet (*Eleusine cCoracona*). *Pakistan J. Botany.* 39(2), 463-474.
- Mazaherinia, S., Astaraei, A.R., Fotovat, A., Monshi, A., 2010. Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Appl. Sci. J.* 7(1), 36-40.
- Moaveni, P., Kheiri, T., 2011. TiO₂ Nano Particles Affected on Maize (*Zea mays* L.). 2nd International Conference on Agricultural and Animal Science in Singapore by International Proceeding of Chemical, Biological & Environmental Engineering. International Association of Computer Science and Information Technology Press. 22. 160-163.
- Mousavi, S.Gh., Mirhadi, M.G., Siadat, S.A., Noor Mohammadi, Gh., Darvish, F., 2009. Effect of water deficit and nitrogen fertilizer on yield and WUE of sorghum and millet forage. *J. New Sci. Agric.* 5(15), 101-114. [In Persian with English Summary].
- Naderi, M. R., Abedi, A., 2012. Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. *J. Nanotech.* 11(1), 18-26. [In Persian with English Summary].
- Paygzar, Y., Ghanbari, A., Heidari, M., Tavassoli, A., 2009. Effect foliar of micronutrients on the quantitative and qualitative characteristics of millet under drought stress (*Pennisetum glaucum*) species notrifed. *Iranian J. Agric. Sci., Islamic Azad University of Tabriz.* 3(10), 67-78. [In Persian with English Summary].
- Parvizi, Y., Nabati, E., 2004. Effect of manure application and irrigation interval on yield indices and water use efficiency in maize (*Zea mays* L.). *Iranian J. of Pajouhesh & Sazandegi.* 63, 21-29. [In Persian with English Summary].
- Rezaye soukht abbandani, R., Ramezani, R., 2010. Study effect away irrigation and nitrogen fertilizer on index physiological growth and yield corn forage (hybrid s. c 704) The weather conditions province Mazandaran. *J. Crop Physiol., Islamic Azad University of Ahvaz.* 2(3), 19-44. [In Persian with English Summary].
- Salehi, M., F. Tamaskoni., 2008. Effect Nanocid at Seed treatment on germination and seedling growth of wheat under salinity. Abstract of the first National Conference of Seed Science and Technology, Iran. P: 358. [In Persian with English Summary].
- Sasani, S., Jahansooz, M.R., Ahmadi, A., 2004. The effects of deficit irrigation on water- use efficiency, yield and quality of forage pearl millet. Proceeding of 4th International Crop Science Congress 2004 at Brisbane Australia. available at: <http://www.cropscience.org.au/icsc2004>.
- Sawada, O., Itoh, J., Fojita, K., 1995. Characteristics of photosynthesis and translocation of labeled photosynthate in husk leaves of sweet corn. *Crop Sci.* 35, 480-485.
- Seghatoleslami, M. J., Kafi, M., Majidi, E., 2008. Effect of deficit irrigation on yield, WUE and some morphological and phonological traits of three millet species. *Pakistan J. Botany.* 40(4), 1555-1560.
- Seghatoleslami, M.J., Kafi, M., Majidi Heravan, A., Noor Mohammadi, Gh., Darvish, F., 2008. Effect of drought stress at different growth stages on yield and water use efficiency of five prosomillet genotypes. *Pakistan J. Botany_40(4)*, 1427- 1432
- Seghatoleslami, M.J., Majidi, E., Kafi, M., Noor Mohammadi, Gh., Darvish, F., Mousavi, S. Gh. 2005. Phenological and morphological response of three millets species to deficit irrigation. *J. Agric. Sci., Islamic Azad University.* 11(3), 89-99. [In Persian with English Summary].
- Thalooth, M., Tawfik, M., Magda Mohamed, H., 2006. A comparative study on the effect of foliar application of Zinc, Potassium and Magnesium on growth, yield and some chemical constituents of Mungbean plants growth under Water stress conditions. *World J. Agric. Sci.* 2, 37-46.

- Valadabadi, S.A., 1999. Evaluation effect of ecophysiological drought stress on maize, sorghum and millet. MSc Thesis in Agronomy, Islamic Azad University in Tehran. 201 p. [In Persian with English Summary].
- Welch, R.M., 1995. Micronutrient Nutrition of Plants. *Crit. Rev. Plant Sci.* 14, 49-82.
- Yan-Jun, D., Zi-Zhen, L., Wen-Long, L., 2006. Effect of different water supply regimes on growth and size hierarchy in spring wheat populations under mulched with clear plastic film. *Agric. Water Managet.* 79, 265-279.