

بررسی اثر تنش آبی، سطوح مختلف کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب ارزن (*Panicum miliaceum* L.) (مطالعه موردی در کاشمر)

مه‌دی مکاری^{*۱}

چکیده

با توجه به وضعیت اقلیمی خشک و نیمه‌خشک حاکم بر کشور و لزوم مدیریت صحیح در مصرف منابع آبی، کم‌آبیاری می‌تواند راهکاری مناسب برای صرفه‌جویی در مصرف آب و رسیدن به عملکرد اقتصادی قابل قبول باشد. بدین منظور پژوهشی با چهار تیمار آبیاری، سه تیمار کودی و دو تیمار تراکم بوته به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده و در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۸ در محل مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان کاشمر به اجرا درآمد. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری مطلوب با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری (I_{100}) و کم‌آبیاری با تأمین ۸۰ (I_{80})، ۶۰ (I_{60}) و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری (I_{40})؛ تیمارهای کودی شامل سه سطح کودی صفر (N_0)، ۵۰ (N_{50}) و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار (N_{100}) و تیمارهای تراکم شامل تراکم ۱۰ (D_{10}) و ۲۰ بوته در هر مترمربع (D_{20}) بودند. نتایج نشان داد که اعمال کم‌آبیاری باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و بهره‌وری آب در سطح احتمال ۵ درصد شد. عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل در مقایسه با تیمارهای کم‌آبیاری I_{80} ، I_{60} و I_{40} به ترتیب ۱۷، ۳۱/۶ و ۴۷/۸ درصد افزایش نشان داد. در تمام تیمارهای آبیاری مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه نسبت به وضعیت عدم استفاده از کود نیتروژن در این تیمارها شد. بیشترین عملکرد دانه در تیمار $I_{100}N_{100}D_{10}$ و به اندازه ۲۲۵۹ کیلوگرم در هکتار بود. در تیمارهای کم‌آبیاری $I_{80}N_{100}$ و $I_{40}N_{100}$ افزایش تراکم بوته از ۱۰ به ۲۰ بوته در هر مترمربع به ترتیب باعث کاهش ۵/۶ و ۶/۳ درصدی عملکرد دانه شد. بیشترین بهره‌وری آب برای تیمار I_{100} و به مقدار ۰/۸ کیلوگرم بر مترمکعب و کم‌ترین مقدار آن برای تیمار I_{40} و به مقدار ۰/۵۶ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد. استفاده از ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار بهره‌وری آب نسبت به وضعیت عدم استفاده از کود در تمام تیمارهای آبیاری شد که مقدار این افزایش در تیمار I_{100} و تیمارهای کم‌آبیاری I_{80} ، I_{60} و I_{40} به ترتیب ۱۶/۲، ۵/۸، ۶/۲ و ۸/۴ درصد بود. بر اساس یافته‌های به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان گفت برای رسیدن به حداکثر عملکرد اقتصادی، تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری، استفاده از ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تراکم ۱۰ بوته در هر مترمربع برای گیاه ارزن دانه‌ای رقم پروسو برای منطقه کاشمر قابل توصیه است.

واژه‌های کلیدی: ارزن، شاخص برداشت، کم‌آبیاری، عملکرد دانه.

ارجاع: مکاری م. ۱۴۰۰. بررسی اثر تنش آبی، سطوح مختلف کود نیتروژن و تراکم بوته بر عملکرد دانه و بهره‌وری آب ارزن (*Panicum miliaceum* L.) (مطالعه موردی در کاشمر). مجله پژوهش آب ایران. ۴۰: ۱۱۱-۱۲۰.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر.

* نویسنده مسئول: mehdimokari@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۹

مقدمه

ارزن (*Pennisetum glaucum* L.) از غلات سنتی در نواحی خشک و نیمه‌خشک مناطق گرمسیری است. ارزن‌ها در بین غلات پس از گندم، برنج، ذرت، جو و سورگوم در رتبه ششم اهمیت قرار دارند (نصیریور و ذاکرنژاد، ۱۳۹۷). علی‌رغم اهمیت زراعی ارزن‌ها در زمان‌های گذشته و نیز جایگاه ویژه آن‌ها در کشاورزی سنتی، در رابطه با آثار تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد و صفات‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک مؤثر در عملکرد این گیاه، تحقیقات کمی انجام شده است (نباتی و رضوانی‌مقدم، ۱۳۸۹). تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی، از عوامل مهم محدودکننده رشد و نمو گیاهان در اغلب نقاط دنیا و از موانع اصلی رسیدن به عملکرد بالقوه گیاهان زراعی است (بلوم، ۲۰۱۱).

کم‌آبیاری مداوم راهکاری مناسب برای کسب عملکرد قابل قبول و اقتصادی با مصرف حداقل آب است (زنگی و همکاران، ۲۰۰۴). در کم‌آبیاری مداوم با وجود این که عملکرد در واحد سطح کاهش پیدا می‌کند؛ ولی کاهش در مقدار آب مصرفی، هزینه‌های استحصال، انتقال و توزیع آب موجب کسب سود بیشتر خواهد شد (بازار و همکاران، ۲۰۰۹).

نصیریور و ذاکرنژاد (۱۳۹۷) گزارش کردند که افزایش تنش خشکی در وضعیت کم‌آبیاری مداوم باعث کاهش معنی‌دار وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ساقه و ارتفاع بوته در ارزن مرواریدی شد. همچنین آنان در مطالعه خود اثر چهار تراکم ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ بوته در مترمربع را بر عملکرد علوفه ارزن مرواریدی مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آنان نشان داد بیشترین عملکرد علوفه ارزن در تراکم ۵۰ بوته در مترمربع و کمترین مقدار آن در تراکم ۲۰ بوته در مترمربع به‌دست آمد. خرمی و توحیدی‌نژاد (۱۳۹۷) در مطالعه خود اثر تنش خشکی مداوم بر عملکرد دانه سه ژنوتیپ ارزن معمولی را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد تنش خشکی مداوم به‌طور معنی‌داری عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه را کاهش داد. مهرپویان و فرامزی (۱۳۹۰) نیز در مطالعه خود نشان دادند کم‌آبیاری مداوم باعث کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه و کارایی مصرف آب ارزن شد؛ به‌گونه‌ای که بیشترین عملکرد علوفه متعلق به تیمار بدون تنش آبی و کم‌ترین مقدار آن متعلق به تیمار ۳۳ درصد نیاز آبی بود.

نتایج پژوهش حیاتی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان دادند که با افزایش دور آبیاری و تحمیل تنش خشکی بیشتر به ارزن دم‌روباهی، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک، تعداد دانه در خوشه و شاخص برداشت در این گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. آنان در مطالعه خود فواصل آبیاری ۷، ۱۴ و ۲۱ روز را در نظر گرفتند.

در زمینه اثر تراکم بوته بر گیاه ارزن، ون اوستروم و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که پنجه‌زنی در ارقام مختلف ارزن مرواریدی همبستگی بالایی با تراکم ندارد؛ ولی در تراکم‌های پایین، تعداد پنجه‌های تولیدی افزایش می‌یابد و علوفه حاصل شده خشبی‌تر خواهد بود. آشینو و همکاران (۲۰۰۵) در مورد بررسی تراکم‌های مختلف از ۵ تا ۴۰ بوته در مترمربع اظهار نظر فوق را تأیید کردند و دریافتند که افزایش تراکم، صفتهایی از قبیل وزن خشک تک بوته و سطح برگ در بوته را نیز کاهش می‌دهد.

مواد معدنی نیز از عوامل مهمی هستند که می‌توانند عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار دهند (کلارک، ۱۹۹۰) و نیتروژن از مهمترین مواد غذایی در نظام‌های تولید گیاهان زراعی است (شاپیرو و همکاران، ۲۰۰۳). برخی از مطالعات نشان می‌دهند که بهره‌وری آب بالاتر می‌تواند از طریق مصرف کود حاصل شود. سیواکومار و سلام (۱۹۹۹) در بررسی اثر مصرف کود بر بهره‌وری آب ارزن مرواریدی دریافتند تجمع ماده خشک در برگ و ساقه به‌طور پیوسته تا ۸۰ روز پس از کاشت در دو تیمار بدون کود (شاهد) و با مصرف کود نیتروژن و فسفر افزایش پیدا کرد. عملکرد ماده خشک در تیمارهایی که کود دریافت کرده بودند، تقریباً دو برابر تیمار شاهد بود؛ با وجود این، تفاوت معنی‌داری بین بهره‌وری آب این دو تیمار مشاهده نشد. پاینه (۱۹۹۷) و باتینو و همکاران (۱۹۹۰) بیان کردند که افزایش تراکم بوته با به‌کاربردن کود سبب افزایش ماده خشک خواهد شد.

ارزن علاوه بر مصرف دام و طیور، توسط انسان نیز مصرف می‌شود و امروزه غذای حدود ۵۰۰ میلیون نفر از مردم کره زمین را تشکیل می‌دهد. رشد سریع، مقاومت نسبتاً بالا به خشکی و توانایی بالای تولید آن در نواحی گرم و خشک باعث شده است تا ارزن به‌عنوان گیاهی مطلوب برای کشت در نواحی که با محدودیت منابع آبی مواجه هستند، به حساب آید.

با توجه به محدودیت منابع آبی در منطقه خشک کاشمر و

منابع طبیعی شهرستان کاشمر در فاصله ۲ کیلومتر از مرکز شهرستان و در طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۲۴ دقیقه شمالی قرار دارد. ارتفاع این مرکز ۱۱۰۹/۷ متر از سطح دریا است. میانگین بلند مدت دمای سالانه محل آزمایش ۱۷/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۱۹۲/۱ میلی‌متر است. اقلیم منطقه بر اساس طبقه‌بندی دو مارتن، خشک می‌باشد. خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک زراعی محل آزمایش به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ و خصوصیات شیمیایی آب آبیاری مزرعه تحقیقاتی که از چاه عمیق تأمین می‌شد، در جدول ۳ ارائه شده است.

با توجه به این که بخش زیادی از جمعیت این منطقه به دامپروری و کشاورزی مشغول هستند، لزوم مدیریت صحیح منابع آبی در کشت ارزن امری اجتناب‌ناپذیر است. به همین منظور هدف این پژوهش بررسی عملکرد دانه و بهره‌وری آب ارزن معمولی در وضعیت کم‌آبایی و تقسیم مقادیر مختلف کود ازته بود.

مواد و روش‌ها

محل مورد مطالعه

این پژوهش در تاریخ ۱۳۹۸/۰۵/۱۰ تا ۱۳۹۸/۰۷/۲۵ در مزرعه پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان کاشمر انجام شد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی و

جدول ۱- خصوصیات شیمیایی خاک مزرعه تحقیقاتی

Mn (mgkg ⁻¹)	Zn (mgkg ⁻¹)	K (mgkg ⁻¹)	P (mgkg ⁻¹)	N (%)	TNV (%)	OC (%)	EC (dSm ⁻¹)	pH	عمق خاک (cm)
۷/۹۱	۰/۰۴۹	۳۱۰	۹/۶	۰/۰۷۱	۲۰/۵	۰/۵۰۲	۰/۵۹۸	۷/۹	۰-۳۰
۴/۴۰	۰/۰۳۰	۲۸۰	۴	۰/۰۳۴	۳۶	۰/۲۵۰	۰/۵۷۰	۷/۷	۳۰-۶۰

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه تحقیقاتی

وزن مخصوص ظاهری (gcm ⁻³)	بافت خاک	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	عمق خاک (cm)
۱/۳۶	لومی - رسی	۲۵	۴۳/۵	۳۱/۵	۰-۳۰
۱/۴۱	رسی	۱۷	۳۸	۴۵	۳۰-۶۰

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی آب مزرعه تحقیقاتی

مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
۴/۳	HCO ³⁻ (meqL ⁻¹)	۷/۳۵	pH
۰	CO ³ ²⁻ (meqL ⁻¹)	۰/۸۵	EC (dSm ⁻¹)
۰/۰۳	SO ⁴ ²⁻ (meqL ⁻¹)	۰/۲۱	Na ⁺ (meqL ⁻¹)
۳/۱۱	Ca ²⁺ (meqL ⁻¹)	۰/۴۲	K ⁺ (meqL ⁻¹)
۱/۲۷	Mg ²⁺ (meqL ⁻¹)	۰/۵۱	Cl ⁻ (meqL ⁻¹)

۱۰۰ (N₁₀₀) کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (پنجه‌زنی و ساقه‌دهی که به صورت سرک و به طور یکنواخت در فاصله ردیف‌های کاشت پخش شد) مصرف شد. این پژوهش در قالب کرت‌های دو بار خرد شده با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. رژیم‌های آبیاری در کرت‌های اصلی، سطوح کود نیتروژن در کرت‌های فرعی و تراکم بوته در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. هر کرت شامل شش خط کاشت به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و طول پنج متر بود. بین کرت‌های فرعی دو خط نکاشت (یک متر) به عنوان فاصله بین کرت‌ها در نظر گرفته و بین

رژیم‌های آبیاری عبارت بودند از: ۱) آبیاری مطلوب بر اساس نیاز آبی تعیین شده برای گیاه ارزن در منطقه کاشمر (I₁₀₀)؛ ۲) کم‌آبیاری که در آن ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه در اختیار آن قرار داده شد (I₈₀)؛ ۳) کم‌آبیاری که در آن ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه در اختیار آن قرار داده شد (I₆₀)؛ ۴) کم‌آبیاری که در آن ۴۰ درصد نیاز آبی گیاه در اختیار آن قرار داده شد (I₄₀). در این آزمایش، از دو تراکم ۱۰ (D₁₀) و ۲۰ (D₂₀) بوته در مترمربع استفاده شد. همچنین با توجه به نتایج آزمون خاک (جدول ۱)، دو سطح کود نیتروژن‌دار از منبع اوره به مقدار ۵۰ (N₅₀) و

کرت‌های اصلی نیز سه متر فاصله لحاظ شد. ترکیب تیماری مورد استفاده در این پژوهش در شکل ۱ ارائه شده است.

	I1			I3			I4			I2		
R1	N0	D1	D2	N100	D2	D1	N50	D1	D2	N0	D2	D1
	N100	D2	D1	N50	D1	D2	N0	D2	D1	N50	D1	D2
	N50	D2	D1	N0	D1	D2	N100	D1	D2	N100	D1	D2
	I2			I4			I1			I3		
R2	N100	D1	D2	N0	D2	D1	N100	D1	D2	N100	D1	D2
	N50	D1	D2	N100	D1	D2	N50	D1	D2	N0	D2	D1
	N0	D2	D1	N50	D1	D2	N0	D2	D1	N50	D1	D2
	I3			I1			I2			I4		
R3	N50	D1	D2	N50	D1	D2	N100	D1	D2	N50	D1	D2
	N0	D1	D2	N0	D2	D1	N0	D2	D1	N100	D1	D2
	N100	D1	D2	N100	D1	D2	N50	D1	D2	N0	D2	D1

R1، R2 و R3 به ترتیب تکرار اول، دوم و سوم؛ I1، I2، I3 و I4 به ترتیب تیمار ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری؛ N0، N50 و N100 به ترتیب تقسیم کود ۰، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و D1 و D2 به ترتیب تراکم ۱۰ و ۲۰ بوته در هر مترمربع می‌باشند.

شکل ۱- شمایی از نقشه طرح استفاده شده در این پژوهش

$$WP = \frac{Y}{TWU} \quad (1)$$

که در این معادله WP بهره‌وری آب مصرفی (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y مقدار عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) و TWU کل آب مصرفی شامل آبیاری و بارندگی مؤثر (مترمکعب در هکتار) است.

محاسبات نیاز آب آبیاری

برای محاسبه نیاز آبی گیاه از تغییرات رطوبت در منطقه توسعه ریشه استفاده شد. میزان رطوبت موجود در خاک قبل از هر آبیاری با رطوبت‌سنج الکترومغناطیس (TDR) اندازه‌گیری شد. برای این منظور، ابتدا دستگاه TDR برای خاک مزرعه واسنجی سپس در زمان سبز شدن بوته‌ها، لوله‌های مخصوص دستگاه در عمق یک متری بین ردیف‌ها نصب شد. عمق آب آبیاری در هر نوبت برای تیمار آبیاری کامل (تیمار شاهد) از طریق معادله زیر تعیین شد:

$$I_n = (\theta_{fc} - \theta_i) \times D_r \quad (2)$$

در این معادله، I_n عمق آب آبیاری در هر نوبت (mm)، θ_{fc} میزان رطوبت ظرفیت زراعی، θ_i میزان رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری و D_r عمق توسعه ریشه (mm) است.

قبل از کاشت آزمون خاک انجام و بر اساس نتایج، کود کامل (شامل ازت و فسفر ترکیبی، گوگرد، پتاس، مواد آلی و 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.

برداشت زمانی که خوشه‌ها کاملاً زرد رنگ شده بود، با حذف دو ردیف کناری و نیم متر ابتدا و انتهای ردیف‌ها به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، انجام شد. ارتفاع گیاه، عملکرد و اجزای عملکرد شامل وزن هزار دانه و عملکرد دانه اندازه‌گیری شده و تحلیل نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS صورت گرفت. برای اندازه‌گیری وزن هزار دانه نیز تعداد پنج نمونه ۱۰۰ تایی از هر کرت انتخاب و وزن هر نمونه اندازه‌گیری و به ۱۰۰۰ دانه تعمیم داده شد. در نهایت میانگین پنج نمونه به‌عنوان وزن هزار دانه پذیرفته شد (امیدی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۴). شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک به دست آمد.

بهره‌وری آب برای تیمارها از طریق معادله (۱) محاسبه شد (لیو و همکاران، ۲۰۱۵):

در طول دوره اعمال تیمارها، بارندگی وجود نداشت. بعد از عملیات کاشت اولین آبیاری در تاریخ ۱۳۹۸/۰۵/۱۰ و آبیاری‌های بعدی با رعایت دور آبیاری ثابت ۷ روز تا تاریخ ۱۳۹۸/۰۷/۱۱ انجام شد. در جدول ۴ مقادیر آب مصرف شده در تاریخ‌های آبیاری و در تیمارهای مختلف آبیاری بر حسب میلی‌متر ارائه شده است.

در جدول ۵ طول مراحل فنولوژیکی و مقدار آب مصرف شده در هر مرحله بر حسب میلی‌متر در تیمارهای مختلف آبیاری ارائه شده است.

در این پژوهش، عمق توسعه ریشه در مرحله اولیه رشد، ۰/۲ متر و در مرحله میانی و رسیدگی ۱/۲ متر در نظر گرفته و برای مرحله توسعه، به صورت درون‌یابی خطی بین رشد اولیه و رشد کامل محاسبه شد.

برای سایر تیمارها حجم آب آبیاری بر اساس تیمار شاهد و اعمال درصد تنش تعیین شد. حجم آب لازم توسط کنتور اندازه‌گیری و به هر کرت داده شد. اعمال تیمارهای آبیاری، پس از استقرار کامل بوته‌ها (یعنی مرحله سه یا چهار برگی شدن گیاه) صورت گرفت و تا آخر فصل رشد ادامه داشت.

جدول ۴- مقادیر آب مصرف شده در تیمارهای مختلف آبیاری بر حسب میلی‌متر

تیمارهای آبیاری				تاریخ‌های آبیاری
۴۰ درصد نیاز آبی	۶۰ درصد نیاز آبی	۸۰ درصد نیاز آبی	۱۰۰ درصد نیاز آبی	
۴	۶/۱	۸/۱	۱۰/۲	۱۳۹۸/۰۵/۱۰
۱۶/۳	۲۴/۴	۳۲/۶	۴۰/۸	۱۳۹۸/۰۵/۱۷
۲۴/۱	۳۶/۲	۴۸/۳	۶۰/۴	۱۳۹۸/۰۵/۲۴
۲۲/۸	۳۵/۷	۴۷/۶	۵۹/۶	۱۳۹۸/۰۵/۳۱
۲۱/۷	۳۲/۶	۴۳/۵	۵۴/۴	۱۳۹۸/۰۶/۰۷
۲۰/۲	۳۰/۳	۴۰/۴	۵۰/۶	۱۳۹۸/۰۶/۱۴
۱۹/۴	۲۹/۱	۳۸/۸	۴۸/۵	۱۳۹۸/۰۶/۲۱
۱۵/۴	۲۳/۱	۳۰/۸	۳۸/۶	۱۳۹۸/۰۶/۲۸
۴/۹	۷/۴	۹/۹	۱۲/۴	۱۳۹۸/۰۷/۴
۴/۸	۷/۲	۹/۶	۱۲	۱۳۹۸/۰۷/۱۱
۱۵۴/۶	۲۳۲/۱	۳۰۹/۶	۳۸۷/۵	مقدار کل آب داده شده (mm)

جدول ۵- طول مراحل فنولوژیکی ارزن دانه‌ای و مقدار آب مصرف شده در هر مرحله در تیمارهای مختلف آبیاری بر حسب میلی‌متر

تیمار آبیاری		۱۰۰ درصد نیاز آبی		۸۰ درصد نیاز آبی		۶۰ درصد نیاز آبی		دوره رشد
روز	مقدار آب داده شده (mm)	روز	مقدار آب داده شده (mm)	روز	مقدار آب داده شده (mm)	روز	مقدار آب داده شده (mm)	
۴	۵/۹	۴	۴/۷	۴	۳/۵	۴	۲/۳	از کاشت تا سبز شدن
۱۲	۶۲/۸	۱۲	۵۰/۲	۱۳	۴۲/۶	۱۳	۲۸/۴	از سبز شدن تا پنجه‌زنی
۱۱	۹۴/۵	۱۲	۸۱/۹	۱۳	۶۵/۸	۱۵	۵۰/۶	از پنجه‌زنی تا ساقه رفتن
۱۹	۱۴۱/۳	۲۰	۱۱۷/۳	۲۱	۹۰/۳	۲۱	۵۹/۲	از ساقه رفتن تا ظهور خوشه
۵	۳۳	۵	۲۵	۴	۱۴/۴	۴	۸	از ظهور خوشه تا گلدهی
۱۱	۳۶/۵	۹	۲۰	۹	۹/۶	۸	۵/۶	از گلدهی تا پرشدن دانه
۱۲	۱۳/۵	۱۱	۱۰/۵	۱۰	۶	۹	۳/۶	از پرشدن دانه تا رسیدن فیزیولوژیک
۷۴	۳۸۸	۷۳	۳۱۰	۷۴	۲۳۲	۷۴	۱۵۸	جمع

نتایج و بحث

اثر متقابل تیمارهای مختلف آبیاری، سطوح مختلف تقسیط کود نیتروژن و تراکم بر صفتهای فوق در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است.

نتایج تجزیه واریانس صفتهای ارتفاع بوته، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و بهره‌وری آب در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به جدول ۶ مشخص می‌شود که

جدول ۶- تجزیه واریانس صفت‌های ارتفاع بوته، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و بهره‌وری آب

میانگین مربعات						منابع تغییرات
بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	شاخص برداشت (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	وزن هزاردانه (گرم)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	درجه آزادی	
۰/۰۰۲ ^{ns}	۰/۲۱۳ ^{ns}	۱۱۶۰۲/۶۶۷ ^{ns}	۰/۰۲۴ ^{ns}	۲/۶۷ ^{ns}	۲	تکرار
۰/۱۷۷ ^{**}	۲۱/۸۶۶ ^{**}	۳۲۲۸۷۴۵/۷۷۸ ^{**}	۲/۲۴۴ ^{**}	۵۵۴/۴۴۸ ^{**}	۳	آبیاری
۰/۰۱۴	۱۷/۶۶۱	۱۵۳۸۹۱/۵۵۵	۰/۴۳۸	۳۴/۷۳۲	۶	خطا
۰/۰۲۵ ^{**}	۱/۳۴۲ ^{ns}	۳۴۳۷۱۴/۶۶۷ ^{**}	۰/۶۷۶ ^{**}	۶۷/۹۲ ^{**}	۲	نیتروژن
۰/۰۹۲ ^{**}	۱۵/۴ ^{**}	۱۶۲۳۱۷۲ ^{**}	۱/۲۱۲ ^{**}	۲۷۹/۸۹۴ ^{**}	۶	آبیاری × نیتروژن
۰/۰۰۱	۴/۷۸۹	۱۲۸۹۵/۶۶۶	۰/۰۴۹	۳/۸۶	۱۶	خطا
۰/۰۰۵ ^{**}	۱/۴۳۹ ^{ns}	۱۰۰۳۵۲ ^{**}	۰/۱۴۲ ^{**}	۱۹/۵۳۱ ^{**}	۱	تراکم
۰/۱۷۷ ^{**}	۲۳/۶۲۲ ^{**}	۳۲۳۳۶۴۵/۹۲۶ ^{**}	۲/۲۸۹ ^{**}	۵۵۶/۵۱۶ ^{**}	۳	آبیاری × تراکم
۰/۰۲۵ ^{**}	۴/۲۲۴ [*]	۳۴۵۲۲۶/۶۶۶ ^{**}	۰/۶۹۱ ^{**}	۶۹/۰۷۶ ^{**}	۲	نیتروژن × تراکم
۰/۰۰۴ ^{**}	۹/۲۲۶ ^{**}	۱۴۷۴۳/۰۳ ^{**}	۰/۱۳۴ ^{**}	۴/۵۵۷ ^{**}	۶	آبیاری × نیتروژن × تراکم
۰/۰۰۰۳	۱/۴۸۳	۲۱۹۱/۱۱۱	۰/۰۰۸	۰/۹۳۷	۲۴	خطای کل
۲/۵۷	۲/۵۷	۲/۹۷	۱/۰۸	۱/۳۲	-	ضریب تغییرات

** معنی‌داری در سطح یک درصد، * معنی‌داری در سطح پنج درصد، ns: غیرمعنی‌دار

جدول ۷- مقایسه میانگین صفت‌های ارتفاع بوته، وزن هزاردانه، عملکرد دانه، شاخص برداشت و بهره‌وری آب در تیمارهای مختلف

تیمار	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	وزن هزاردانه (گرم)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
I ₁₀₀ N ₀ D ₁₀	۷۸/۳ ^a	۸/۵ ^c	۱۹۷۴ ^{cd}	۴۸/۲۱ ^{abc}	۰/۷۴ ^d
I ₁₀₀ N ₀ D ₂₀	۷۷/۳ ^c	۸/۴ ^d	۱۹۲۰ ^{de}	۴۸/۱۶ ^{abc}	۰/۷۱ ^e
I ₁₀₀ N ₅₀ D ₁₀	۸۰ ^b	۸/۶ ^c	۲۱۲۰ ^b	۴۸/۳۲ ^{ab}	۰/۸۱ ^c
I ₁₀₀ N ₅₀ D ₂₀	۸۰ ^b	۸/۶ ^c	۲۰۱۴ ^c	۴۷/۴۹ ^{abcdef}	۰/۷۹ ^c
I ₁₀₀ N ₁₀₀ D ₁₀	۸۳/۶ ^a	۹/۳ ^a	۲۲۵۹ ^a	۴۸/۵۶ ^{ab}	۰/۸۹ ^a
I ₁₀₀ N ₁₀₀ D ₂₀	۸۰ ^b	۸/۸ ^b	۲۱۵۶ ^b	۴۸/۲۷ ^{ab}	۰/۸۴ ^b
I ₈₀ N ₀ D ₁₀	۷۳/۳ ^{fg}	۸/۲ ^e	۱۶۲۷ ^{hi}	۴۷/۸۴ ^{abcde}	۰/۶۵ ^{hi}
I ₈₀ N ₀ D ₂₀	۷۳ ^{fgh}	۸/۲ ^e	۱۵۸۷ ⁱ	۴۸/۷۷ ^b	۰/۶۵ ^{hij}
I ₈₀ N ₅₀ D ₁₀	۷۵ ^{de}	۸/۴ ^d	۱۷۳۴ ^g	۴۶/۴۳ ^{defg}	۰/۶۷ ^{fg}
I ₈₀ N ₅₀ D ₂₀	۷۴ ^{ef}	۸/۴ ^d	۱۶۸۰ ^{gh}	۴۸/۰۹ ^{abcd}	۰/۶۶ ^{gh}
I ₈₀ N ₁₀₀ D ₁₀	۷۶ ^d	۸/۴ ^d	۱۹۰۷ ^e	۴۸/۸۰ ^a	۰/۶۹ ^{ef}
I ₈₀ N ₁₀₀ D ₂₀	۷۵/۳ ^d	۸/۴ ^d	۱۸۰۰ ^f	۴۶/۸۷ ^{bcdefg}	۰/۶۹ ^{ef}
I ₆₀ N ₀ D ₁₀	۷۰ ^{kl}	۸ ^f	۱۳۶۰ ^m	۴۷/۴۴ ^{abcdef}	۰/۶۱ ^{lm}
I ₆₀ N ₀ D ₂₀	۷۰ ^{kl}	۸ ^f	۱۳۳۴ ^m	۴۷/۸۵ ^{abcde}	۰/۶۰ ^m
I ₆₀ N ₅₀ D ₁₀	۷۱/۵ ^{ij}	۸/۲ ^e	۱۴۲۷ ^{kl}	۴۷/۷۶ ^{abcde}	۰/۶۲ ^{kl}
I ₆₀ N ₅₀ D ₂₀	۷۱ ^{jk}	۸/۱ ^e	۱۳۸۷ ^{lm}	۴۷/۴۹ ^{abcdef}	۰/۶۱ ^{lm}
I ₆₀ N ₁₀₀ D ₁₀	۷۲/۳ ^{ghi}	۸/۲ ^e	۱۵۱۴ ^j	۴۷/۴۹ ^{abcdef}	۰/۶۴ ^{ijk}
I ₆₀ N ₁₀₀ D ₂₀	۷۲ ^{hij}	۸/۲ ^e	۱۴۸۰ ^{jk}	۴۷/۸۴ ^{abcde}	۰/۶۳ ^{jkl}
I ₄₀ N ₀ D ₁₀	۶۵/۴ ⁿ	۷/۸ ^g	۱۰۲۷ ^q	۴۶/۰۹ ^{fg}	۰/۵۵ ^p
I ₄₀ N ₀ D ₂₀	۶۲/۷ ^o	۷/۵ ^h	۸۰۰ ^r	۴۲/۱۳ ^h	۰/۵۳ ^q
I ₄₀ N ₅₀ D ₁₀	۶۸ ^m	۸ ^f	۱۱۳۴ ^{op}	۴۶/۲۰ ^{efg}	۰/۵۷ ^{op}
I ₄₀ N ₅₀ D ₂₀	۶۷ ^m	۷/۹ ^f	۱۱۰۷ ^p	۴۷/۷۲ ^{abcdef}	۰/۵۶ ^{op}
I ₄₀ N ₁₀₀ D ₁₀	۶۹/۴ ^l	۸ ^f	۱۲۵۴ ⁿ	۴۶/۵۳ ^{cdefg}	۰/۵۹ ^{mo}
I ₄₀ N ₁₀₀ D ₂₀	۶۸ ^m	۸ ^f	۱۱۷۴ ^o	۴۵/۶۰ ^g	۰/۵۸ ^{no}

در هر ستون و در هر گروه تیمار اعداد دارای حروف یکسان تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

ارتفاع بوته

معنی‌داری کاهش یافت. ارتفاع بوته در تیمار آبیاری کامل در مقایسه با تیمارهای کم‌آبیاری بیشتر بود. کاهش ارتفاع بوته در تیمارهای ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری در

مقایسه میانگین ارتفاع بوته در تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد که با اعمال تنش خشکی ارتفاع بوته به‌طور

هزاردانه، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که با نتایج حیاتی و همکاران (۱۳۹۰) مطابقت دارد. به‌طور کلی وزن دانه تابعی از سرعت و طول دوره پرشدن آن است که از دو منبع فتوسنتز جاری و انتقال مجدد ذخیره شده در گیاه تأمین می‌شود. به‌نظر می‌رسد با افزایش تنش رطوبتی، این مؤلفه‌ها سرعت و مدت کم‌تری نسبت به وضعیت عدم تنش دارند و در نتیجه این عوامل سبب کاهش وزن دانه می‌شوند. وزن هزاردانه در تیمار آبیاری کامل در مقایسه با تیمارهای کم‌آبیاری ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری به‌ترتیب ۴/۶، ۶/۹ و ۱۰/۳ درصد بیشتر بود. نتیجه پژوهش خدابنده‌لو و همکاران (۱۳۹۳) نیز نشان داد که تنش خشکی شدید منجر به کاهش ۹ درصدی وزن هزاردانه نسبت به تیمار شاهد می‌شود که نتایج آنان با نتیجه به‌دست آمده در این پژوهش هم‌خوانی داشت.

در تمام تیمارهای آبیاری استفاده از کود نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار وزن هزاردانه شد. مصرف ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب باعث افزایش ۲/۴ و ۴/۸ درصدی وزن هزاردانه نسبت به تیمار بدون مصرف کود شد. به استثنای تیمار آبیاری کامل، در تمام تیمارهای کم‌آبیاری، وزن هزاردانه در سطوح کودی ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم تفاوت معنی‌داری نداشت. بررسی اثر تراکم بوته بر وزن هزاردانه نیز نشان داد که فقط در وضعیت آبیاری کامل و اعمال تنش خشکی شدید، و در صورت استفاده نکردن از کود نیتروژن، تراکم بیش‌تر باعث کاهش معنی‌دار وزن هزاردانه شد؛ در حالی که در سایر تیمارهای کم‌آبیاری، تراکم بوته اثر معنی‌داری در کاهش یا افزایش وزن هزاردانه نداشت. بیشترین وزن هزاردانه متعلق به تیمار آبیاری کامل، سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تراکم ۱۰ بوته در مترمربع و به اندازه ۹/۳ گرم و کم‌ترین مقدار آن متعلق به تیمار ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری، سطح کودی صفر و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع و به اندازه ۷/۵ گرم بود.

عملکرد دانه

عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل در مقایسه با تیمارهای کم‌آبیاری ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری به‌ترتیب ۱۷، ۳۱/۶ و ۴۷/۸ درصد افزایش نشان داد. علت کاهش عملکرد دانه در اثر تنش کم‌آبی را می‌توان به‌دلیل کاهش توان فتوسنتزی و زایشی گیاه دانست که منجر به کاهش

مقایسه با تیمار آبیاری کامل به‌ترتیب ۶/۸، ۱۰/۹ و ۱۶/۴ درصد بود. نتیجه مطالعه ثقه الاسلامی و همکاران (۱۳۸۴) نیز نشان داد که تنش خشکی ارتفاع بوته ارزن را به‌طور معنی‌داری کاهش داد که با نتیجه به دست آمده در این پژوهش مطابقت دارد. آنان کاهش ارتفاع بوته در اثر تنش خشکی را به کاهش طول میان‌گره‌ها، طول خوشه و طول گل‌آذین مربوط دانستند. کاهش ارتفاع در اثر تنش خشکی می‌تواند به‌دلیل تأثیر تنش روی آماس سلولی و همچنین کاهش تکثیر سلولی باشد (مشایخی و همکاران، ۱۳۹۵). نتیجه پژوهش نصیرپور و ذاکرنژاد (۱۳۹۷) نیز نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته ارزن در وضعیت آبیاری کامل به دست آمد که با نتیجه به‌دست آمده در این پژوهش کاملاً مطابقت دارد. در یک سطح آبیاری مشخص، استفاده از کود نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه نسبت به وضعیت بدون استفاده از کود شد که این موضوع با نتیجه مطالعه محمدی و همکاران (۱۳۹۶) هم‌خوانی دارد. در وضعیت آبیاری کامل، استفاده از ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌ترتیب باعث افزایش ۲/۸ و ۴/۹ درصدی ارتفاع گیاه نسبت به تیمار شاهد شد. افزایش ارتفاع بوته در تیمارهای کاربرد نیتروژن نسبت به تیمار عدم کاربرد نیتروژن را می‌توان به‌واسطه نقش نیتروژن در تولید و صدور هورمون سیتوکسین از ریشه به اندام‌های هوایی که موجب افزایش سرعت تقسیم سلولی، رشد و ارتفاع گیاه می‌شود، دانست (مارشتر، ۲۰۱۲).

در وضعیت آبیاری کامل (I100) و تنش خشکی شدید (I40)، تراکم بوته در سطوح کودی صفر و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بر ارتفاع گیاه اثر معنی‌دار داشت؛ به گونه‌ای که ارتفاع گیاه در تراکم ۱۰ بوته در هر مترمربع نسبت به تراکم ۲۰ بوته در هر مترمربع بیشتر بود. بیشترین ارتفاع بوته در وضعیت آبیاری کامل، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تراکم ۱۰ بوته در هر مترمربع و به اندازه ۸۳/۶ سانتی‌متر و کم‌ترین مقدار آن در تیمار ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری، سطح کودی صفر و تراکم ۲۰ بوته در هر مترمربع و به اندازه ۶۲/۷ سانتی‌متر مشاهده شد.

وزن هزاردانه

وزن هزاردانه در تیمار آبیاری کامل در مقایسه با تیمارهای کم‌آبیاری بیشتر بود. با اعمال کم‌ترین تنش آبی وزن

شاخص برداشت

شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک به دست آمد. شاخص برداشت در تیمارهای آبیاری ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آب آبیاری تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد نداشت و در مقایسه با تیمار ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری بیشتر بود. شاخص برداشت در تیمارهای ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آب آبیاری به ترتیب به اندازه ۵/۲، ۴/۲ و ۴/۲ درصد بیشتر از تیمار ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری بود. تیمار بدون تنش، بیشترین و تیمار تنش شدید، دارای کم‌ترین شاخص برداشت بود. کاهش شاخص برداشت در تنش کم‌آبی ممکن است به دلیل عقیم ماندن گلچه‌ها و کاهش وزن دانه باشد (برادفورد، ۱۹۹۴). بروک و همکاران (۲۰۰۰) و مشایخی و همکاران (۱۳۹۵) نیز کاهش شاخص برداشت در اثر تنش خشکی در ارزن را گزارش کردند که با نتیجه به دست آمده در این پژوهش مطابقت داشت. نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۶) نشان داد که آثار ساده مصرف کود نیتروژن و تراکم بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود. نتیجه پژوهش محمدی و همکاران (۱۳۹۶) نیز نشان داد که اثر ساده استفاده از کود نیتروژن بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود که با نتیجه به دست آمده در این پژوهش هم‌خوانی داشت. این مطلب بدین معنی است که در سطوح مختلف کود نیتروژن، عملکرد دانه و بیولوژیک به نسبت یکسانی تحت تأثیر قرار گرفته است.

حجم آب مصرفی

مقدار کل آب مصرفی برای هر یک از تیمارهای آبیاری در جدول ۸ آورده شده است.

جدول ۸- حجم آب مصرفی در طول دوره رشد برای تیمارهای مختلف آبیاری

تیمار آبیاری	کل آب مصرفی (m ³ /ha)
I ₁₀₀	۳۸۷۰
I ₈₀	۳۱۰۰
I ₆₀	۲۳۲۰
I ₄₀	۱۵۴۰

بهره‌وری آب

با اعمال کم‌آبیاری بهره‌وری آب به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. بهره‌وری آب در تیمار آبیاری کامل به ترتیب به اندازه ۱۷/۵، ۲۳/۷ و ۳۰ درصد بیشتر از بهره‌وری آب در

وزن هزاردانه و در نهایت عملکرد دانه در ارزن می‌شود. نتیجه پژوهش محمدی و همکاران (۱۳۹۶) و حیاتی و همکاران (۱۳۹۰) نیز نشان داد که تنش کم‌آبی باعث کاهش

معنی‌دار عملکرد دانه در ارزن شد که با نتایج به دست آمده در این پژوهش کاملاً مطابقت داشت. نتیجه پژوهش خدابنده‌لو و همکاران (۱۳۹۳) نیز نشان داد تنش خشکی متوسط و شدید به ترتیب باعث کاهش ۲۲ و ۴۲ درصدی عملکرد دانه ارزن معمولی در مقایسه با تیمار بدون تنش آبی شد.

عملکرد دانه در تیمار آبیاری کامل، سطح کودی صفر و تراکم ۲۰ بوته در مترمربع با مقدار آن در تیمار ۸۰ درصد نیاز آب آبیاری، سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و تراکم ۱۰ بوته در مترمربع تفاوت معنی‌داری نداشت. اعمال تیمارهای کم‌آبیاری ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری در تمام سطوح کودی باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه در مقایسه با تیمار شاهد شد. در تمام تیمارهای آبیاری، استفاده از کود نیتروژن باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه شد. افزایش معنی‌دار عملکرد دانه در ارزن با افزایش کاربرد نیتروژن توسط پراساد و همکاران (۲۰۱۴) نیز گزارش شده است که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی داشت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند در وضعیت آبیاری کامل، کارایی استفاده از کود افزایش می‌یابد و گیاه با سهولت بیشتری عناصر غذایی فاز محلول را جذب می‌کند. این نتیجه با نتیجه پژوهش اسماعیلیان (۱۳۹۸) کاملاً مطابقت دارد.

اثر تراکم بوته بر عملکرد دانه در تیمار شاهد، تیمار کم‌آبیاری ۶۰ درصد نیاز آب آبیاری در تمام سطوح کودی و تیمار کم‌آبیاری ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری و سطح کودی ۵۰ کیلوگرم در هکتار معنی‌دار نبود. در بقیه تیمارهای آزمایشی افزایش تراکم بوته در هر مترمربع باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه شد. در تیمارهای کم‌آبیاری ۸۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری و سطح کودی ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، افزایش تراکم بوته از ۱۰ به ۲۰ بوته در هر مترمربع به ترتیب باعث کاهش ۵/۶ و ۶/۳ درصدی عملکرد دانه گردید. بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار I₁₀₀N₁₀₀D₁₀ و به اندازه ۲۲۵۹ کیلوگرم در هکتار و کم‌ترین مقدار آن متعلق به تیمار I₄₀N₀D₂₀ و به اندازه ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار بود.

سپاس‌گزاری

نویسنده مقاله تشکر ویژه خود را از کارکنان مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرستان کاشمر برای همکاری در اجرای این پژوهش اعلام می‌دارد.

منابع

- اسماعیلیان ی. ۱۳۹۸. بررسی تأثیر روش‌های تغذیه آلی و شیمیایی بر ویژگی‌های کمی علوفه و دانه ارزن (*Panicum miliaceum L.*) در شرایط تنش خشکی انتهای فصل. نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۹(۴): ۱۷-۳۱.
- امیدی‌نسب د. قرینه م. ح. بخشنده ع. م. شرفی‌زاده م. شافعی‌نیا ع. ر. و عزیزه س. ۱۳۹۴. اثر میزان بذر و کود نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گندم (*Triticum aestivum*) در بقایای گیاهی ذرت (*Zea mays*) (بی‌خاک‌ورزی). نشریه پژوهش‌های زراعی. ۱۳(۳): ۵۹۸-۶۱۰.
- ثقه‌الاسلامی م. ج. مجیدی‌هروان ا. کافی م. نورمحمدی ق. درویش ف. و موسوی س. غ. ر. ۱۳۸۴. واکنش فنولوژیکی و مورفولوژیکی سه گونه ارزن به کم‌آبایی. مجله علوم کشاورزی. ۱۱(۳): ۸۹-۹۸.
- حیاتی ا. رمرودی م. و گلوی م. ۱۳۹۰. تأثیر زمان کاربرد پتاسیم بر عملکرد و محتوای پروتئین دانه ارزن دم‌روپاهی در رژیم‌های متفاوت آبیاری. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۱(۲): ۳۵-۴۳.
- خدابنده‌لو ش. سپهری ع. احمدوند گ. و کشتکار ا. ح. ۱۳۹۳. اثر مصرف سیلیکون بر عملکرد دانه ارزن معمولی و بازده مصرف آب تحت شرایط تنش خشکی. به‌زراعی کشاورزی. ۱۶(۲): ۳۹۹-۴۱۶.
- خرمی ع. و توحیدی‌نژاد ع. ۱۳۹۷. بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد دانه سه ژنوتیپ ارزن معمولی (*Panicum miliaceum L.*). تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۱(۱): ۱۱-۲۱.
- محمدی ا. موسوی س. غ. ر. و ثقه‌الاسلامی م. ج. ۱۳۹۶. تأثیر دور آبیاری و کود نیتروژن بر صفات مورفولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد ارزن

تیمارهای کم‌آبایی ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری بود. تنش بیش از حد می‌تواند از طریق کاهش فتوسنتز و تولید ماده خشک، باعث کاهش بهره‌وری آب شود. در تیمار آبیاری کامل، و تیمارهای کم‌آبایی ۸۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری، مصرف ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار بهره‌وری آب شد. استفاده از ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار باعث افزایش معنی‌دار بهره‌وری آب نسبت به وضعیت عدم استفاده از کود در تمام تیمارهای آبیاری شد که مقدار این افزایش در تیمار آبیاری کامل و تیمارهای کم‌آبایی ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری به ترتیب ۱۶/۲، ۵/۸، ۶/۲ و ۸/۴ درصد بود. بررسی تراکم بوته بر بهره‌وری آب نشان داد که در تیمارهای ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آب آبیاری، تراکم بوته در تمام سطوح کودی اثر معنی‌داری در افزایش یا کاهش معنی‌دار بهره‌وری آب نداشت؛ ولی در تیمار آبیاری کامل و تیمار ۴۰ درصد نیاز آب آبیاری، در وضعیت استفاده نکردن از کود نیتروژن، افزایش تراکم بوته از ۱۰ به ۲۰ بوته در هر مترمربع باعث کاهش معنی‌دار بهره‌وری آب در سطح احتمال ۵ درصد شد. بیشترین بهره‌وری آب مربوط به تیمار $I_{100}N_{100}D_{10}$ و به اندازه ۰/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب و کم‌ترین مقدار آن متعلق به تیمار $I_{40}N_{0}D_{20}$ و به اندازه ۰/۵۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود.

نتیجه‌گیری

یافته‌های به‌دست آمده از این پژوهش نشان داد ارزن دانه‌ای، گیاهی حساس به کم‌آبی است و با کم‌ترین تنش خشکی اعمال شده، عملکرد دانه آن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. از طرفی استفاده از ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار چه در وضعیت آبیاری مطلوب و چه در وضعیت کم‌آبایی، باعث افزایش معنی‌دار عملکرد دانه می‌شود. کاهش عملکرد دانه در اثر تنش آبی کم تنها با استفاده از ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تراکم ۱۰ بوته در هر مترمربع قابل جبران است. بر اساس یافته‌های به دست آمده در این پژوهش، می‌توان گفت برای رسیدن به حداکثر عملکرد اقتصادی، تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آب آبیاری، استفاده از ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و تراکم ۱۰ بوته در هر مترمربع برای گیاه ارزن دانه‌ای رقم پروسو برای منطقه کاشمر قابل توصیه است.

18. Liu E. K. Mei X.R. Yan C. R. Gong D. Z. and Zhang Y. Q. 2015. Effects of water stress on photosynthetic characteristics, dry matter translocation and WUE in two winter wheat genotypes. *Agricultural Water Management*. 167: 75-85.
19. Marschner H. 2012. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press London. 672 p.
20. Payne W.A. 1997. Managing yield and water use of pearl millet in the Sahel. *Agronomy Journal*. 89: 481-490.
21. 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. *Bioscan*. 9(1): 163-166.
22. Shapiro C. A. Ferguson R. B. Hergert G. W. Dobermann A. R. and Wortmann C. S. 2003. Fertilizer suggestion for crop; Cooperative Extension Service, University of Nebraska.
23. Sivakumar M.V.K. and Salaam S. A. 1999. Effect of year and fertilizer on water use efficiency of pearl millet (*Pennisetum glaucum*) in Niger. *Journal of Agricultural Science*. 132: 139-148.
24. Van Oosterom E. J. Carberry P. S. and O'leary G. J. 2015. Simulating growth, development and yield of tillering pearl millet I. Leaf area profiles on main shoots and tillers. *Field Crop Research*. 72: 51-66.
25. Yazar A. Gokcel F. and Sezen M. 2009. Corn yield response to partial root zone drying and deficit irrigation strategies applied with drip system. *Plant, Soil & Environment*. 55(11): 494-503.
26. Zegbe J. Behboudian M. and Clothier B. 2004. Partial root zone drying is a feasible option for irrigation processing tomatoes. *Agricultural Water Management*. 68(3): 195-206.
- تنش‌های محیطی در *(Panicum miliaceum L.)* علوم زراعی. ۱۰(۲): ۲۲۵-۲۳۵.
۸. مشایخی س. خواجهی‌نژاد غ.ر. و محمدی‌نژاد ق. ۱۳۹۵. بررسی عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های مختلف ارزن تحت دو رژیم آبیاری. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۴(۱): ۱۲۰-۱۳۲.
۹. مهرپویان م. و فرامرزی ع. ۱۳۹۰. تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد کمی و راندمان مصرف آب در ارزن نوتریفید و سورگوم اسپیدفید. فصلنامه علمی- پژوهشی گیاه و زیست بوم. ۷(۲۶): ۶۰-۷۱.
۱۰. نباتی ج. و رضوانی‌مقدم پ. ۱۳۸۹. اثر فواصل آبیاری بر عملکرد و خصوصیات مورفولوژیکی ارزن، سورگوم و ذرت علوفه‌ای. نشریه علوم گیاهان زراعی ایران. ۴۱(۱): ۱۷۹-۱۸۶.
۱۱. نصیریپور م. و ذاکرنژاد س. ۱۳۹۷. تأثیر تراکم کاشت و رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد علوفه ارزن مرواریدی (*Pennisetum glaucum L.*) در شرایط آب و هوایی اهواز. دو فصلنامه‌ی علوم به‌زراعی گیاهی. ۸(۲): ۱۷۱-۱۸۲.
12. Ashiono G. B. Gatuiku S. Mwangi P. and Akuja T.E. 2005. Effect of nitrogen and phosphorus application on growth and yield of dual-purpose sorghum (*Sorghum bicolor* (L) Moench), E1291, in the dry highlands of Kenya. *Asian Journal of Plant Sciences*. 4: 379-382.
13. Bationo A. Christianson C. B. and Baethgen W. E. 1990. Plant density and nitrogen fertilizer effects on pearl millet production in Niger: I. Grain yield and dry matter accumulation. *Agronomy Journal*. 82: 290-295.
14. Blum A. 2011. *Plant Breeding for Water-Limited Environments*. Springer. 258 pp.
15. Bradford K.J. 1994. Water stress and the water relations of seed developments: A critical review. *Crop Science*. 34: 1-11.
16. Bruck H. Payne W. A. and Sattelmacher B. 2000. Effects of phosphorus and water supply on yield, transpiration, water use efficiency and carbon isotope discrimination of pearl millet. *Crop Science*. 40: 120-125.
17. Clark R. B. 1990. *Physiology of cereals for mineral nutrient uptake, and efficiency. Crops as enhancers of nutrient use*. Academic Press, San in Diego, CA. pp. 131-209.